

TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

**Mathematisch model van de geplande winning van infiltratiewater
ter hoogte van de Avekapellekreek**

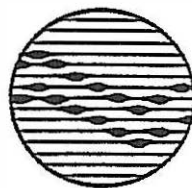
97/17



UNIVERSITEIT GENT

Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

**Mathematisch model van de geplande
winning van infiltratiewater ter hoogte
van de Avekapellekreek**



Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47
fax 09/264 49 88

**Opdrachtgever
IWVA**

**Leiding: Prof. Dr. W. De Breuck
Studie en verslag: Lic. D. De Smet**

**Projectnummer: TGO 97/17
Datum: maart 1998**

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN	-II-
LIJST VAN FIGUREN	-II-
1. Inleiding	-1-
2. Het mathematisch model	-2-
3. Ingevoerde gegevens	-3-
3.1 Beschrijving	-3-
3.2 Cellen	-3-
3.3 Hydraulische eigenschappen	-7-
3.4 Modelgrenzen	-8-
3.4.1 Grenzen gevormd door waterlopen	-8-
3.4.2 Vaste stijghoogten	-10-
3.4.3 Nuttige neerslag	-10-
3.5 Calibratie	-11-
3.6 Innamekanaal	-14-
3.7 Pompputten	-14-
4. Resultaten stromingsmodel	-18-
4.1 Huidige toestand	-18-
4.2 Geplande toestand	-24-
5. Beschouwingen omtrent debieten	-44-
5.1 Toestand van de waterlopen	-44-
5.1.1 Kromme Gracht	-44-
5.1.2 Oude A-Vaart	-44-
5.1.3 Zoutenaaieteed	-45-
5.1.4 Innamekanaal	-45-
5.1.5 Besluit	-45-
5.2 Massabalans	-46-
6. Besluit	-47-
Referenties	-48-

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 3.1 - Ingevoerde parameters	-7-
Tabel 3.2 - Gebruikte stijghoogten ten behoeve van de calibratie	-11-
Tabel 3.3 - Pompschema	-17-
Tabel 4.1 - Vergelijking van de verlagingen met en zonder pumping ter hoogte van de hoeven	-25-
Tabel 4.2 - Vergelijking watertafel in de huidige en in de geplande toestand en de te verwachten verlaging ter hoogte van de hoeven	-26-
Tabel 5.1 - Invloed van de Kromme Gracht op het grondwaterreservoir	-44-
Tabel 5.2 - Invloed van de Oude A-Vaart op het grondwaterreservoir	-44-
Tabel 5.3 - Invloed van het Zoutenaaleed op het grondwaterreservoir	-45-
Tabel 5.4 - Invloed van het innamekanaal op het grondwaterreservoir	-45-
Tabel 5.5 - Vergelijking van de massabalans voor de huidige en geplande toestand in de winter	-46-
Tabel 5.6 - Vergelijking van de massabalans voor de huidige en geplande toestand in de zomer	-46-

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 3.1 - Beschrijving van het gemodelleerde gebied	-4-
Figuur 3.2 - Isohypsen van de basis van het model	-5-
Figuur 3.3 - Hydrogeologische E-W-doorsnede van het gemodelleerde gebied	-6-
Figuur 3.4 - Modelgrenzen	-9-
Figuur 3.5 - Resultaten van de calibratie voor een winterperiode	-12-
Figuur 3.6 - Resultaten van de calibratie voor een zomerperiode	-13-
Figuur 3.7 - Tijd-stijghoogtegrafiek voor de peilput SB40F2, centraal in het modelgebied	-15-
Figuur 3.8 - Tijd-stijghoogtegrafiek van de peilput SB39F2, vlak bij de Kromme Gracht .	-16-
Figuur 4.1 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de huidige toestand in de winter ..	-19-
Figuur 4.2 - Zoetwaterstijghoogte op 8 januari 1987	-20-
Figuur 4.3 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de huidige toestand in de zomer ..	-21-
Figuur 4.4 - Zoetwaterstijghoogte op 4 juli	-22-
Figuur 4.5 - Zoetwaterstijghoogte op 7 augustus 1986	-23-
Figuur 4.6 - Nummering van de hoeven ten behoeve van tabel 4.1	-27-
Figuur 4.7 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 3	-28-
Figuur 4.8 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 3	-29-
Figuur 4.9 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 5	-30-
Figuur 4.10 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 5	-31-
Figuur 4.11 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 6	-32-
Figuur 4.12 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 6	-33-
Figuur 4.13 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 9	-34-
Figuur 4.14 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 9 ...	-35-
Figuur 4.15 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de winter	-36-
Figuur 4.16 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de winter	-37-
Figuur 4.17 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de winter, na 6 jaar	-38-

Figuur 4.18 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de winter, na 6 jaar	-39-
Figuur 4.19 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de zomer	-40-
Figuur 4.20 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de zomer	-41-
Figuur 4.21 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de zomer, na 6 jaar	-42-
Figuur 4.22 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de zomer, na 6 jaar	-43-

Mathematisch model van de geplande winning van infiltratiewater ter hoogte van de Avekapellekreek

1. Inleiding

Dit verslag omvat de begeleidende tekst bij de studie "Mathematisch model van de geplande winning van infiltratiewater ter hoogte van de Avekapellekreek", conform het voorstel van 10 september 1997 van het LTGH aan de IWVA.

De studie is uitgevoerd naar aanleiding van de plannen van de IWVA om in de Avekapellekreek door middel van een uit te graven kanaal, tot onder de polderklei, water te laten infiltreren in de onderliggende zandige sedimenten. Tijdens de winterperiode wordt het geïnfiltreerde water bovenaan het grondwaterreservoir opgepompt voor drinkwaterproductie. Onderaan het reservoir wordt tegelijkertijd het aanwezige zoute water weggepompt; de bedoeling is dat na verloop van tijd het volledige reservoir in de omgeving van het kanaal gevuld is met zoet water zodat het in zijn geheel voor drinkwaterproductie in aanmerking komt.

Het doel van deze studie was tweeledig. Enerzijds diende door middel van droge handboringen de dikte van de polderklei nagegaan te worden langs het tracé van het te realiseren innamekanaal. Anderzijds diende een mathematisch model opgesteld dat de effecten van de productie op de grondwaterstand kan berekenen.

Het eerste deel van deze studie was afgerond in oktober 1997 en de resultaten zijn in een tussentijds verslag overgemaakt aan de IWVA. De gegevens, verzameld in het eerste deel zijn integraal opgenomen in het model. De overige gegevens zijn overgenomen uit bestaande studies. Het innamekanaal en de winningen zijn ingepland zoals aangegeven door de IWVA.

Het verslag is als volgt opgebouwd:

2. Het mathematisch model;
3. Ingevoerde gegevens;
4. Resultaten stromingsmodel;
5. Beschouwingen omtrent debieten;
6. Besluit.

2. Het mathematisch model

Voor deze modellering is gebruik gemaakt van het modelleringssysteem visualMODFLOW.

Steunend op de Wet van Darcy (grondwaterstromingssnelheid = gradiënt x doorlatendheid) en het continuïteitsprincipe (de hoeveelheid water die in een volume stroomt = de hoeveelheid die eruit stroomt + de hoeveelheid water die geborgen wordt), kan men de differentiaalvergelijking opstellen die de grondwaterstroming in het reservoir beschrijft.

De differentiaalvergelijking kan slechts voor een klein aantal zeer eenvoudige gevallen exact analytisch opgelost worden. Daarom zet men deze om in een reeks van eindig-verschilvergelijkingen: de stijghoogte wordt slechts voor een eindig aantal punten in het model berekend. De vergelijkingen worden iteratief opgelost. De berekeningen worden onderbroken van zodra het verschil tussen twee opeenvolgende berekende stijghoogten (twee iteraties) niet groter is dan een vooraf bepaalde afwijking.

Bij de eindig-verschilmethode verdeelt men het grondwaterreservoir in een eindig aantal staafjes of cellen. Deze komen voor in kolommen, rijen en lagen. De middelpunten van de cellen noemt men de nodale punten. Het is voor deze nodale punten dat het model de stijghoogte berekent; de stijghoogte binnen een cel is constant. De kolommen en de rijen worden willekeurig gekozen; de lagen zijn afhankelijk van de geologische opbouw. Bij de berekening is de dikte van het bovenste niet-afgesloten gedeelte afhankelijk van de stijghoogte in de laag.

3. Ingevoerde gegevens

3.1 Beschrijving

Het gemodelleerd gebied is gelegen in het zuidwesten van de provincie West-Vlaanderen in de polderstreek. Het strekt zich uit ten oosten van Avekapelle en ten westen van Rousdamme in het noordoosten van Veurne (Fig. 3.1).

Het gebied wordt in het noorden begrensd door de weg Veurne-Pervijze, in het zuiden door het Zoutenaaleed, in het westen door de Kromme Gracht en in het oosten door de Oude A-Vaart.

De omgeving ter hoogte van het terrein is op basis van de topografische kaart van het gebied gedigitaliseerd met het tekenprogramma "Autocad". Het bekomen bestand is ingelezen in het model.

Het kanaal volgt de Rousdammestraat langs de noordelijke zijde op ca. 5 m van de berm van de straat. Het kanaal is ca. 2.000 m lang en 10 m breed. In het uiterste oosten, nabij de Oude A-Vaart wordt geen water geïnfiltreerd. Ter hoogte van de "Groene Haag Hoeve" (Hoeve 3 op Fig. 4.6) wordt over een lengte van ca. 50 m geen water geïnfiltreerd. Het kanaal wordt verbuisd onder de toegangswegen tot de boerderijen.

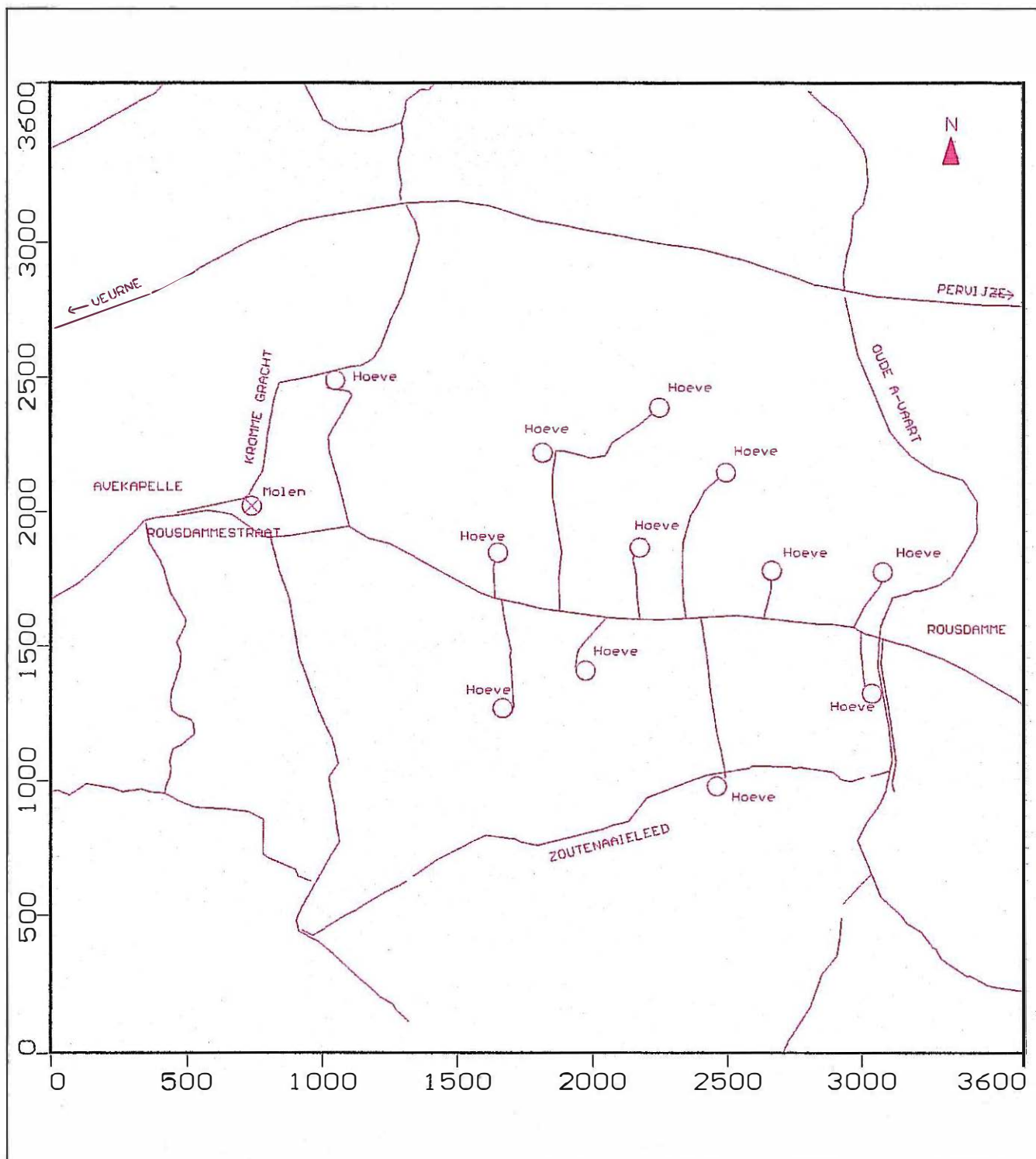
3.2 Cellen

Horizontaal is het gebied ingedeeld in een raster van vierkanten van 80 op 80 m. Nabij het geplande kanaal is dit verfijnd tot vierkanten van 10 op 10 m, om een goede inplanting van kanaal en pompputten toe te laten. De overgang tussen de "grote" en "kleine" vierkanten gebeurt geleidelijk omdat anders de bruuske overgang de berekeningen te fel bemoeilijken. Uiteindelijk is een raster ontstaan van 225 kolommen en 93 rijen.

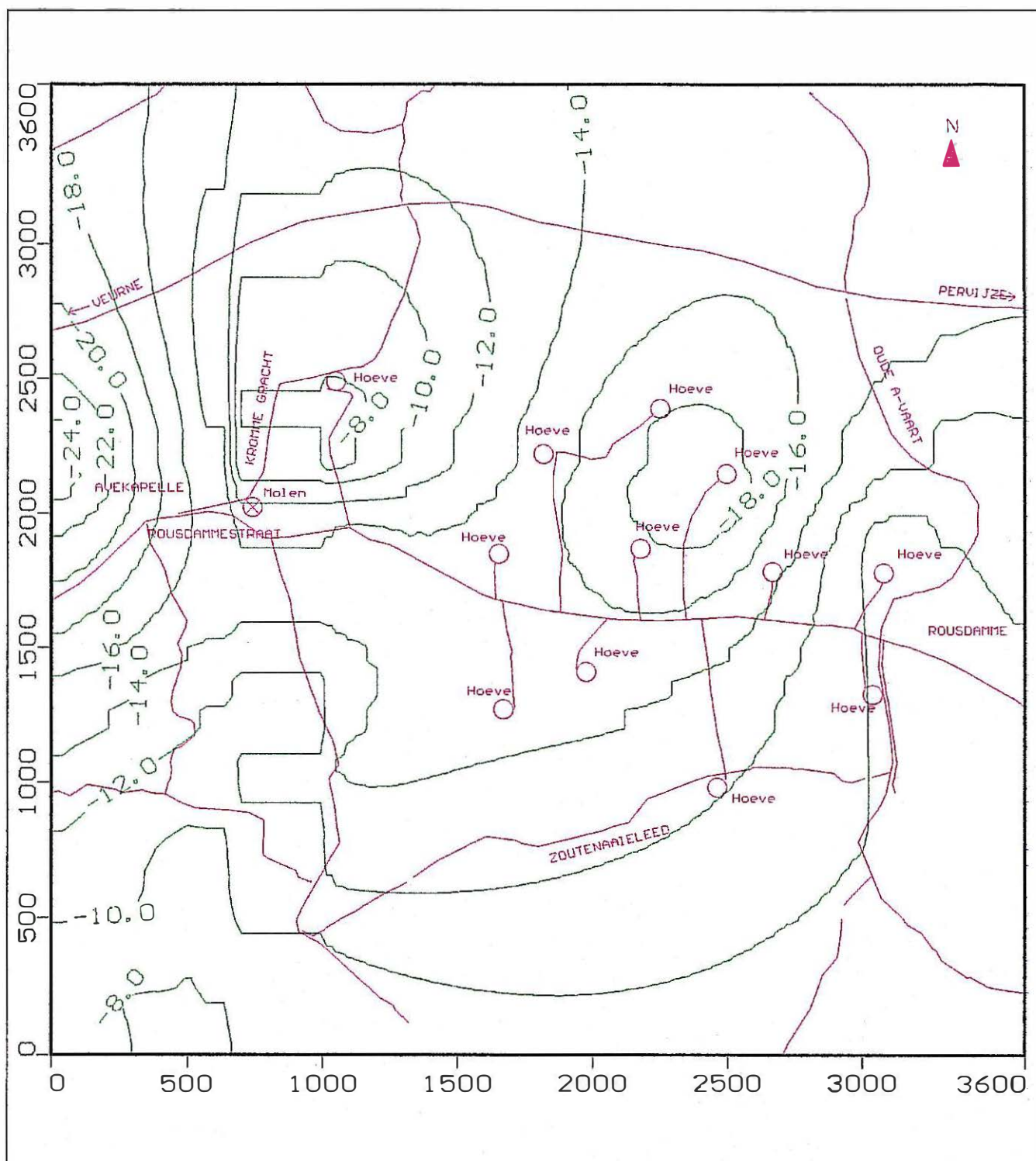
Verticaal zijn, rekening houdend met de hydrogeologie, 4 lagen ingevoerd. Het reservoir is onderaan begrensd door de Formatie van Kortrijk, of waar deze voorkomt de top van een kleiige laag aan de basis van het Quartair (laag K3, L. ZEUWTS, 1991). De isohypsen van de basis van het model zijn afgebeeld op figuur 3.2. Bovenaan is de polderklei ingevoerd als een aparte slecht-doorlatende laag (laag 1). De dikte van deze laag ter hoogte van het kanaal is uitvoerig nagegaan in het eerste deel van deze studie. Daartussen is het quartair, zandig reservoir nog eens ingedeeld in drie lagen (twee watervoerende lagen (laag 2 en laag 4), gescheiden door een minder doorlatende laag (laag 3)). De hydrogeologie is geschetst aan de hand van een EW-doorsnede (Fig. 3.3).

Ter hoogte van de poelgronden (noorden, zuiden) gaan de zandige quartaire afzettingen over in klei en veen.

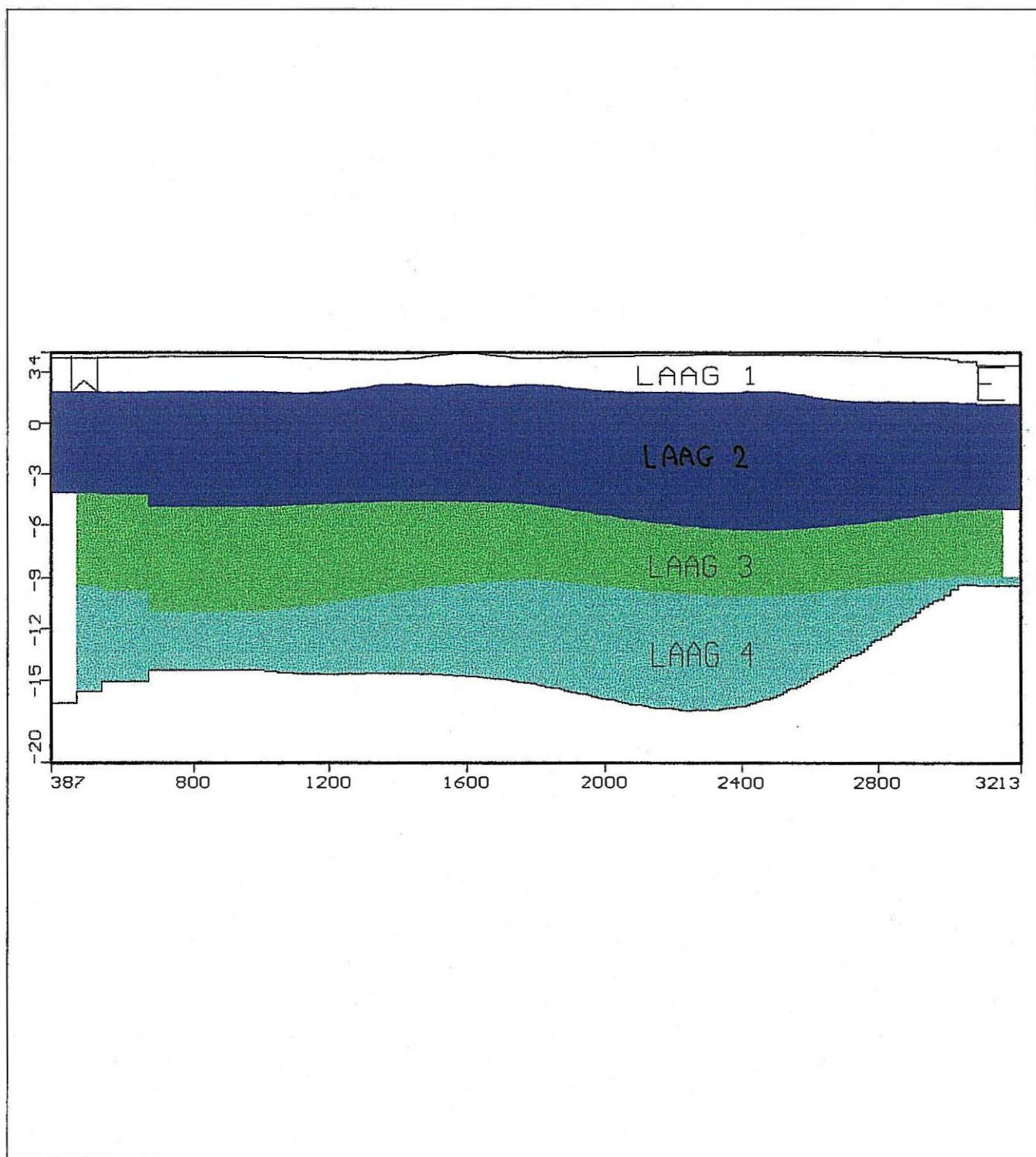
Figuur 3.1 - Beschrijving van het gemodelleerde gebied



Figuur 3.2 - Isohyphen van de basis van het model



Figuur 3.3 - Hydrogeologische E-W-doorsnede van het gemodelleerde gebied



3.3 Hydraulische eigenschappen

De hydraulische eigenschappen zijn afgeleid uit een dubbele pompproef ter hoogte van de Kromme Gracht in Avekapelle (L. LEBBE et al., 1995) en een pompproef op de as van de Avekapellekreek (L. ZE UWTS, 1991). De gegevens voor de poelgronden zijn afgeleid van andere quartaire lemige en kleiige lagen.

In tabel 3.1 zijn de ingevoerde hydraulische parameters weergegeven. Laag 1 is overal ingevoerd (polderklei); de lagen 2 tot en met 4 ter hoogte van de kreekkrug. Ter hoogte van de poelgronden zijn aparte hydraulische parameters ingevoerd.

Voor de verhouding verticale op horizontale doorlatendheid is een waarde van 0,1 aangenomen. Voor laag 3 is een waarde van 0,15 m/d ingevoerd voor de verticale doorlatendheid; deze is afgeleid uit de dubbele pompproef te Avekapelle (nabij Kromme Gracht).

Tabel 3.1 - Ingevoerde parameters

Hydraulische parameter	Laag 1	Laag 2	Laag 3	Laag 4	Poelgronden
Horizontale doorlatendheid, K_h (m/d)	0,6	5,54	2,4	5,7	0,25
Verticale doorlatendheid, K_z (m/d)	0,06	0,55	0,15	0,57	0,025
Specifieke berging, S_s (1/m)	0,00019	0,00019	0,00019	0,00019	0,00019
Opbrengstcoëfficiënt, S_y	0,0215	0,2	0,2	0,2	0,2
Effectieve porositeit	0,1	0,38	0,38	0,38	0,38

De hydraulische parameters van de poelgronden zijn ook ingevoerd, doch er is geen rekening mee gehouden bij de modelberekeningen (de grens met de poelgronden is ingegeven als vaste stijghoogte, 3.4.2).

3.4 Modelgrenzen

Op figuur 3.4 zijn de modelgrenzen voorgesteld.

3.4.1 Grenzen gevormd door waterlopen

- Ter hoogte van de Kromme Gracht is een grens beschouwd. In de winter is het waterpeil op +1,8¹ verondersteld, in de zomer op +2,1. Verondersteld is dat het bodempeil van de gracht overall +1 bedraagt. De doorlatendheid van de bedding is in het model gedefinieerd als de hoeveelheid water die per dag in een cel aangeduid als waterloop stroomt en deze is dus afhankelijk van de grootte van de cellen en bovendien plaatsafhankelijk. Als basis is de waarde van de hydraulische weerstand tussen het reservoir en de gracht genomen, bepaald tijdens de pompproef te Avekapelle (L. LEBBE et al., 1995): $c_{riv.} = 9$ dagen. Op basis van deze gegevens, de grootte van de cellen en na calibratie zijn voor de Kromme Gracht waarden ingevoerd van 5, 15 en 40 m²/d, afhankelijk van de plaats en de grootte van de cellen.

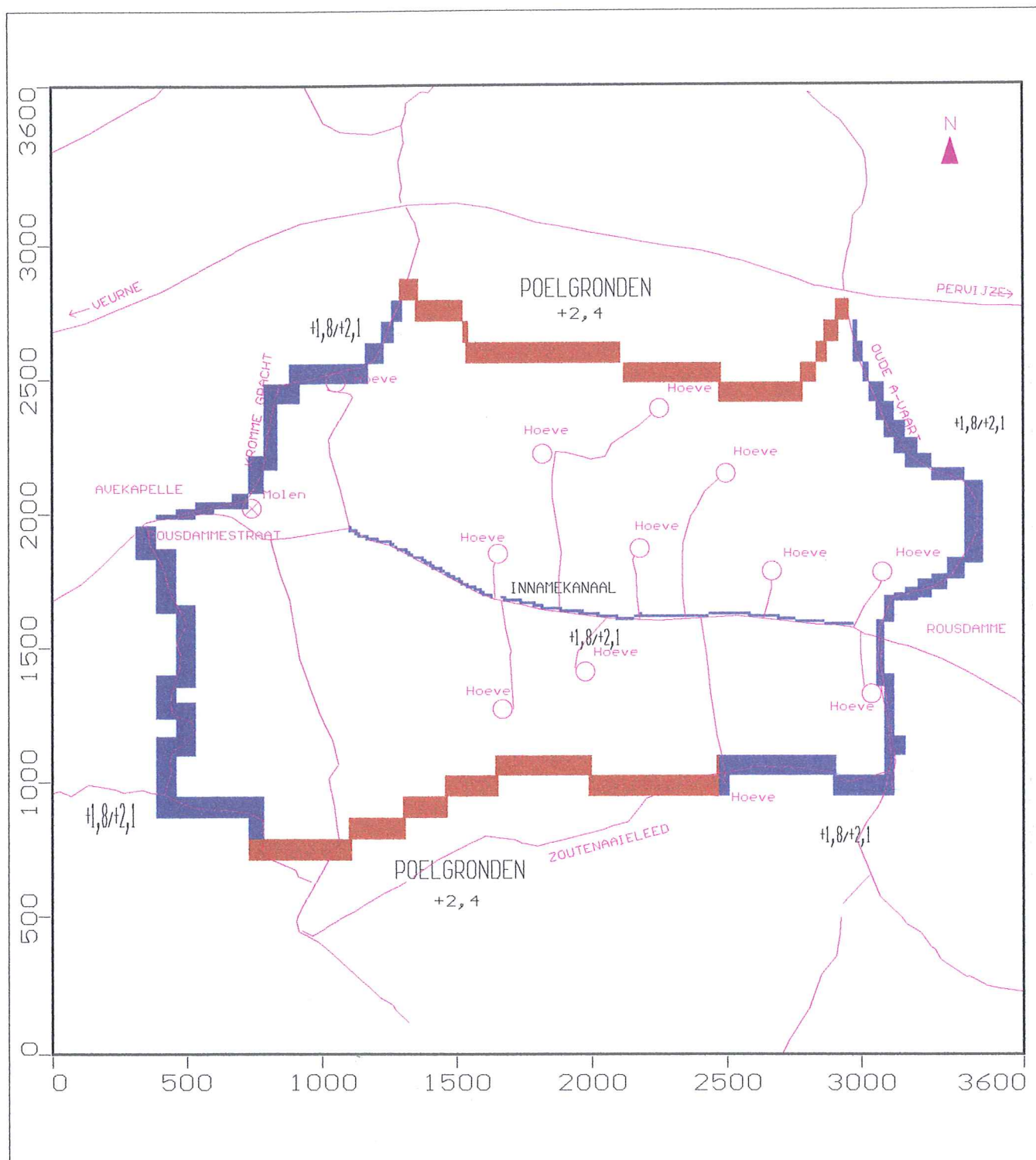
- Ter hoogte van het Zoutenaaleed, maar niet ter hoogte van de poelgronden, is een grens beschouwd. In de winter is het waterpeil vastgelegd op +1,8, in de zomer op +2,1. Verondersteld is dat het bodempeil van de gracht overall +1 bedraagt. Als basis voor de doorlatendheid van de bedding, is de waarde van de hydraulische weerstand tussen het reservoir en de gracht genomen, bepaald tijdens de pompproef te Avekapelle (L. LEBBE et al., 1995): $c_{riv.} = 9$ dagen. Op basis van deze gegevens, de grootte van de cellen en na calibratie is voor het Zoutenaaleed een waarde ingevoerd van 5 m²/d.

- Ter hoogte van de Oude A-Vaart is een grens beschouwd. In de winter is het waterpeil vastgelegd op +1,8, in de zomer op +2,1. Verondersteld is dat het bodempeil van de gracht overall +1 bedraagt. Als basis is de waarde van de hydraulische weerstand tussen het reservoir en de gracht genomen, bepaald tijdens de pompproef te Avekapelle (L. LEBBE et al., 1995): $c_{riv.} = 9$ dagen. Op basis van deze gegevens, de grootte van de cellen en na calibratie zijn voor de Oude A-Vaart waarden ingevoerd van 30 m²/d en 40 m²/d.

Deze grenzen zijn enkel toegekend aan de lagen waarin de kanalen voorkomen (laag 1 en meestal ook laag 2). Ter hoogte van de onderliggende lagen is een modelgrens aangebracht, waarbij verondersteld is dat de kanalen een waterscheidingskam vormen.

¹ Alle peilen in dit verslag zijn aangegeven in m t.o.v. het referentievlak van de TAW (Tweede algemene waterpassing van het NGI)

Figuur 3.4 - Modelgrenzen



3.4.2 Vaste stijghoogten

De grens van de poelgronden met de kreekrug is ingevoerd als vaste stijghoogte. Er is een gemiddelde waarde van +2,4 aangenomen als vaste stijghoogte.

3.4.3 Nuttige neerslag

Voor de nuttige neerslag is - na calibratie - de lage waarde aangenomen van 50 mm/jaar. Deze wordt verdeeld over +135 mm/jaar in de winter en -35 mm/jaar in de zomer. Er wordt hier dus verondersteld dat er in de zomer, bovenop de reeds van nature geringe nuttige neerslag in de winter, een gedeelte van de grondwaterreserve verbruikt wordt bij processen zoals evapotranspiratie, drainage en waterwinning.

3.4 Calibratie

Voor de calibratie zijn de gegevens overgenomen van de doctoraatsthesis van L. ZE UWTS (1991). De ingevoerde peilputten met de ingevoerde waarden gebruikt bij de calibratie zijn samengebracht in tabel 3.2.

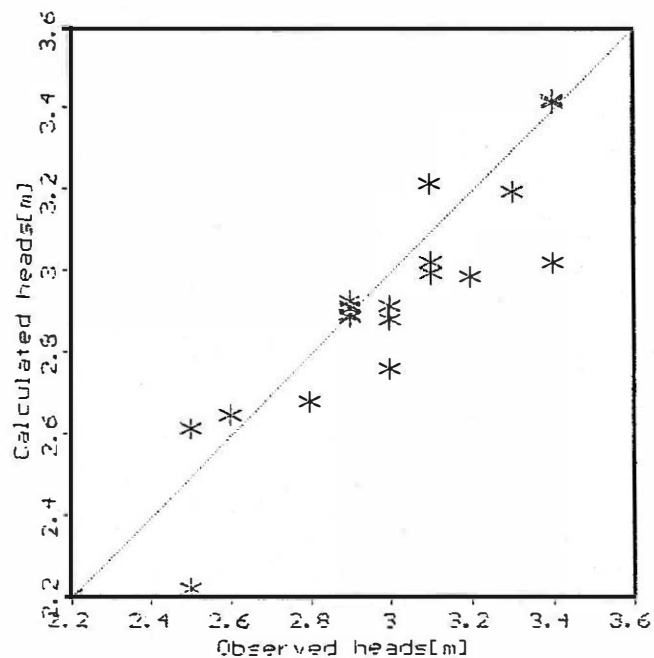
Tabel 3.2 - Gebruikte stijghoogten ten behoeve van de calibratie

Peilput	winterwaarde	zomerwaarde
SB26F1	+3,2	+2,3
SB26F2	+3,1	+2,2
SB27F1	+2,9	+2,2
SB27F2	+2,9	+2,2
SB28F1	+3,3	+2,3
SB28F2	+3,1	+2,2
SB29F1	+2,9	+2,2
SB29F2	+2,9	+2,2
SB35F1	+3,0	+2,2
SB35F2	+2,9	+2,1
SB39F1	+2,5	+2,3
SB39F2	+2,2	+2
SB40F1	+3,4	+2,5
SB40F2	+3,4	+2,4
SB41F1	+2,6	+2,1
SB41F2	+2,5	+2,0
SB42F1	+3,4	+2,5
SB42F2	+3,1	+2,4
SB49F1	+3	+2,4
SB49F2	+2,9	+2,3
HSB3	+3	+2,4
HSB4	+2,8	+2,5

Men dient er rekening mee te houden dat tijdens deze metingen de opvulperiodes telkens te nat waren en er één te droge en één te natte afvloeiperiode was. Voor de winterperiode is de waarde voor maart 1987 genomen voor de opvulperiodes. Voor de zomer is het gemiddelde tussen de te droge en de te natte afvloeiperiode weerhouden.

De resultaten van de calibratie zijn voorgesteld op figuur 3.5 voor een winterperiode en op figuur 3.6 voor een zomerperiode.

Figuur 3.5 - Resultaten van de calibratie voor een winterperiode

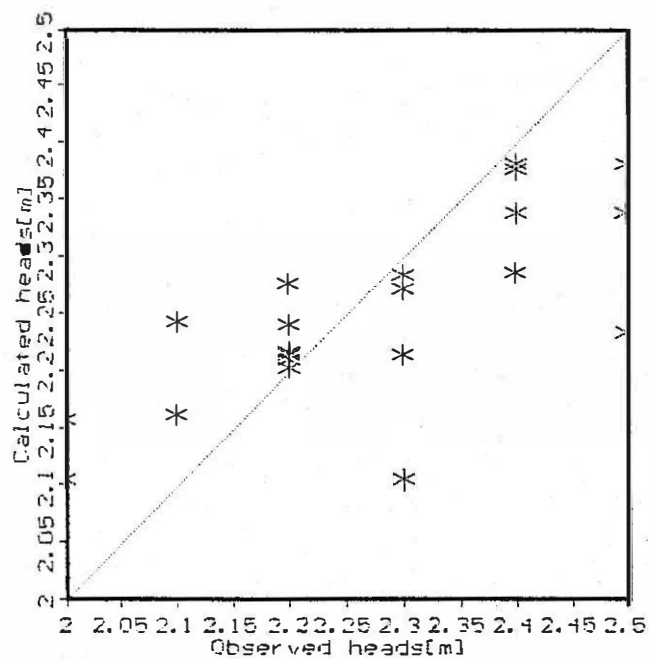


Mean error: -0.0631024

Mean abs. err: 0.0976379

RMS error: 0.139358

Figuur 3.6 - Resultaten van de calibratie voor een zomerperiode



Period: 4

Step: 1

Mean error: -0.0202636

Mean abs. err: 0.0785656

RMS error: 0.10502

Men dient er rekening mee te houden dat het hier gaat om relatief oude gegevens (1986-1987). Bovendien is gebleken dat voor de periode dat er gemeten is in het bestek van de doctoraats-thesis van L. ZE UWTS (1991) het peil van de grachten niet constant was. De grootste afwijkingen zijn vastgesteld nabij de randen van het model. Op plaatsen waar er een relatief groot verschil is in stijghoogte tussen de diepe en de ondiepe watervoerende laag is het verschil in berekende en gemeten stijghoogte voor de diepere laag relatief groot.

Op figuur 3.7 is een tijd-stijghoogtegrafiek voorgesteld voor de peilput SB40F2 op de as van de kreekrug. Een verschil van ca. 1 m tussen winter- en zomerpeil is waargenomen en ook berekend. Op figuur 3.8 is een tijd-stijghoogtegrafiek voorgesteld van SB39F2 nabij de Kromme Gracht. Het verschil tussen winter- en zomerwaarde is gering en benadert het verschil in polderpeil.

3.5 Innamekanaal

Na de calibratie is het innamekanaal ingevoerd als een grens gevormd door een waterloop. De as van het kanaal is gelegen op 10 m van de berm van de Rousdammestraat en het is 10 m breed (Fig. 3.4). Het peil van het innamekanaal is hetzelfde als dat van de Kromme Gracht (staan in verbinding). Dit betekent +1,8 in de winter en +2,1 in de zomer. Over het grootste gedeelte van het traject is het bodempeil van het innamekanaal vastgelegd op +1, enkel nabij de uiteinden is een peil van +0,5 aangenomen. Voor het invoeren van deze peilen is rekening gehouden met de handboringen uitgevoerd tijdens fase 1. Voor de waterstroom naar het kanaal is een waarde aangenomen van 1.000.000 m³/d, dit veronderstelt een zeer kleine waarde voor de hydraulische weerstand tussen kanaal en grondwaterreservoir (0,0001 d).

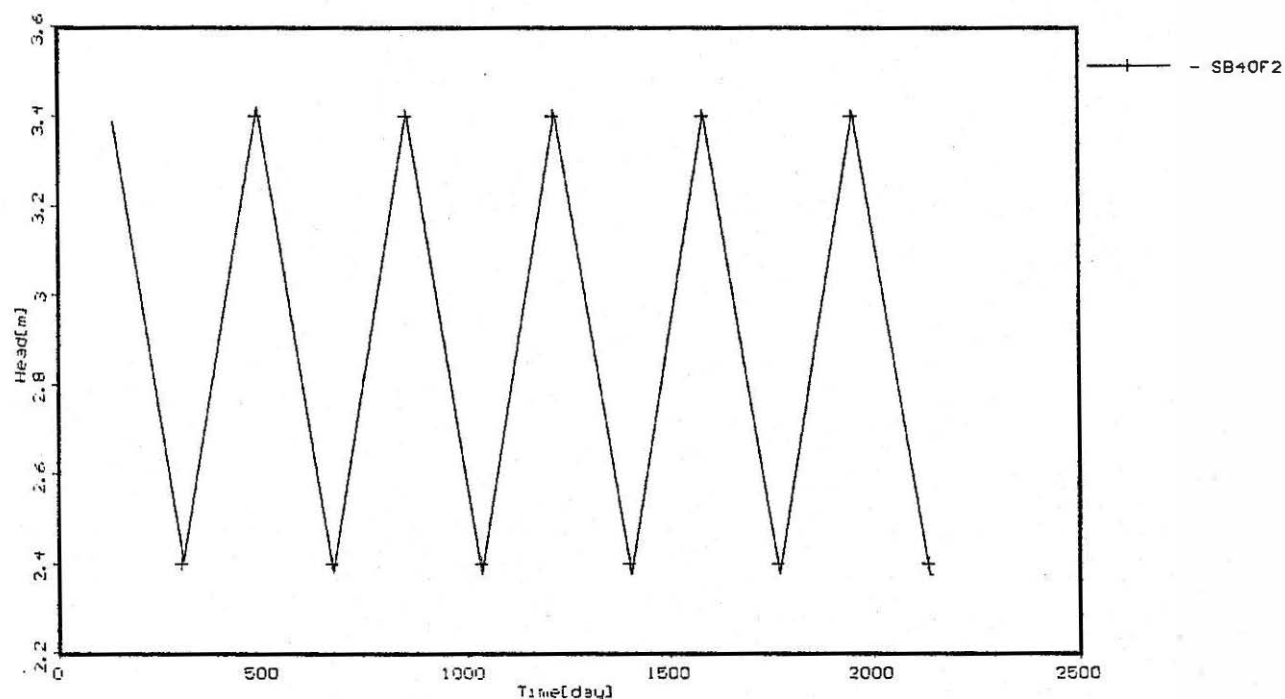
3.6 Pompputten

In totaal zijn 160 pompputten ingevoerd in het model, 80 langs de noordzijde en 80 langs de zuidzijde. Aan de noordzijde zijn ze ingeplant op 11 tot 14 m van de rand van het kanaal, aan de zuidzijde langs de overzijde van de Rousdammestraat op 20 tot 24 m van de rand van het kanaal. Het betreft telkens een paar (40 paar langs elke zijde) met een ondiepe en een diepe filter. De paren zijn evenredig verdeeld langs het traject van het kanaal.

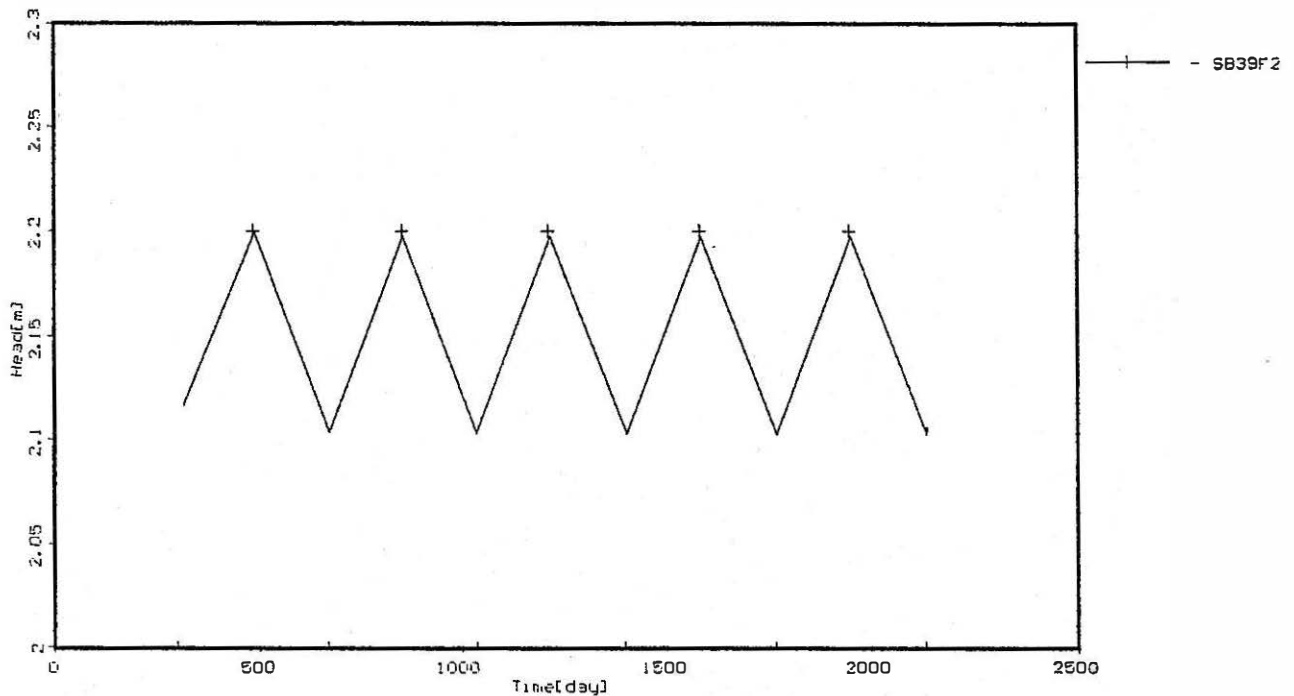
De basis van de diepe filter is telkens geplaatst op 1 m boven de basis van het grondwaterreservoir, over een lengte van 4 m. De basis van de ondiepe filter is telkens geplaatst op 8 m onder het maaiveld; de filter is 4 m lang.

De onderste puttenreeks is in eerste instantie bedoeld voor de productie van zout water. Verwacht wordt dat het reservoir door de infiltratie van zoet water en het wegpompen van zout water in die mate ontzilt zal zijn dat deze putten op middellange termijn zullen bijdragen tot de productie van zoet water. De bovenste puttenserie is bedoeld voor de productie van zoet water. Door de toenemende verzoeting van het reservoir zal men de zoetwaterproductie geleidelijk laten toenemen en de zoutwaterproductie afbouwen. Het pompschema voor de putten is samengebracht in tabel 3.2. Het is overgenomen van de nota "Winning van infiltratiewater hoogte van de Avekapellekreek" (IWVA, 1997). Er zal enkel in de winter gepompt worden (van half september tot half maart).

Figuur 3.7 - Tijd-stijghoogtegrafiek voor de peilput SB40F2, centraal in het modelgebied



Figuur 3.8 - Tijd-stijghoogtegrafiek van de peilput SB39F2, vlak bij de Kromme Gracht



Tabel 3.3 - Pompschema

Jaar	Zoetwaterproductie		Zoutwaterproductie	
	per put (m ³ /d)	totaal (2X40 putten) (m ³ /d)	per put (m ³ /d)	totaal (2X40 putten) (m ³ /d)
Jaar 1	48	3.840	120	9.600
Jaar 2	48	3.840	120	9.600
Jaar 3	60	4.800	108	8.640
Jaar 4	60	4.800	108	8.640
Jaar 5	72	5.760	96	7.680
Jaar 6	72	5.760	96	7.680

4. Resultaten stromingsmodel

4.1 Huidige toestand

In de veronderstelling dat er geen innamekanaal is en er niet gepompt wordt kan men aannemen dat de toestand er zal uitzien als volgt.

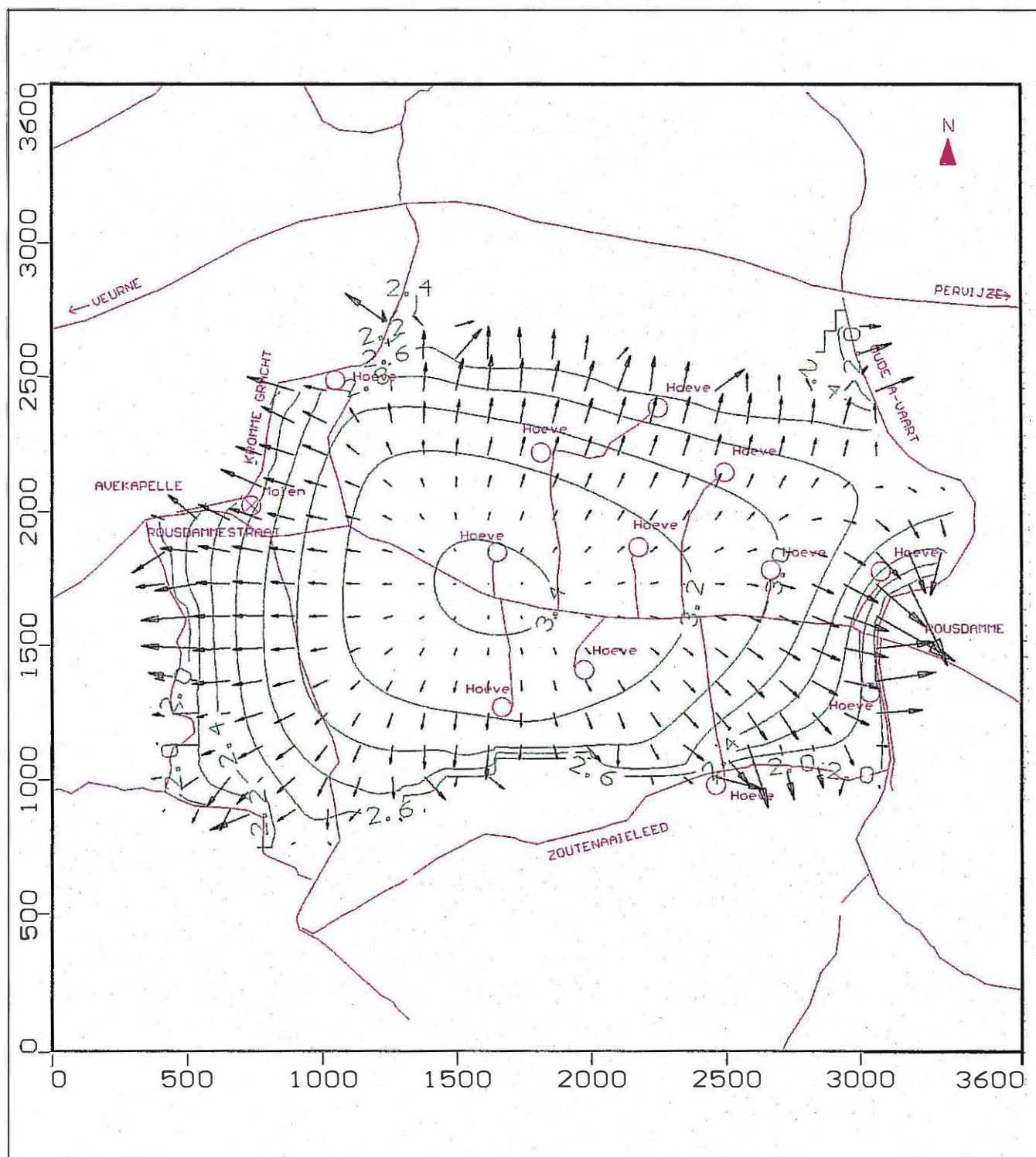
Van de berekende grondwaterstroming in de bovenste watervoerende laag (Fig. 4.1) kan men het volgende afleiden. In de winter vormt het centrale gedeelte van de Avekapellekreek een voedingsgebied van waaruit het water in de richting van de Kromme Gracht stroomt in het westen; naar de Oude A-Vaart in het oosten en in het zuiden naar het Zoutenaaleed. In een beperkt centraal noordelijk gedeelte stroomt het water in de richting van de noordelijk gelegen poelgronden. Nabij de grenzen met de poelgronden en nabij de grachten stroomt het grondwater relatief snel. Deze configuratie vertoont een vrij grote overeenkomst met het stromingspatroon van L. ZE UWTS (1991), voor 8 januari 1987, rekening houdend met het feit dat de winter van 1987 relatief nat was (Fig. 4.2).

Figuur 4.3 geeft de toestand in de zomer weer in de bovenste watervoerende laag. Het centrale gedeelte vormt nog steeds het voedingsgebied, doch de stijghoogten liggen hier nu ca. 1 m lager dan in de winter. De kanalen worden kunstmatig op een relatief hoog peil (+2,1) gehouden, zodat de snelheid van het grondwater nu veel beperkter is. In een gedeelte van het gebied is er zelfs uitstroming uit de grachten. Dit patroon vertoont een vrij grote overeenkomst met dat van L. ZE UWTS (1991), voor 4 juli 1986 (Fig. 4.4).











Het is niet uitgesloten dat in extreme omstandigheden (droog, nat) dit patroon er enigszins anders uitziet, wat ook bevestigd wordt in bovenvermelde doctoraatsthesis. Zo is bijvoorbeeld figuur 4.5 een stromingspatroon uit de zeer droge zomerperiode van augustus 1986. Een vrij groot gebied wordt hier geïrrigeerd door de grachten.

Voor het model zijn de polderpeilen arbitrair gekozen. Van de figuren van Zeuwts (1991) is af te leiden dat deze peilen niet echt constant zijn. Schommelingen van deze peilen kunnen wijzigingen in het stromingspatroon teweeg brengen.

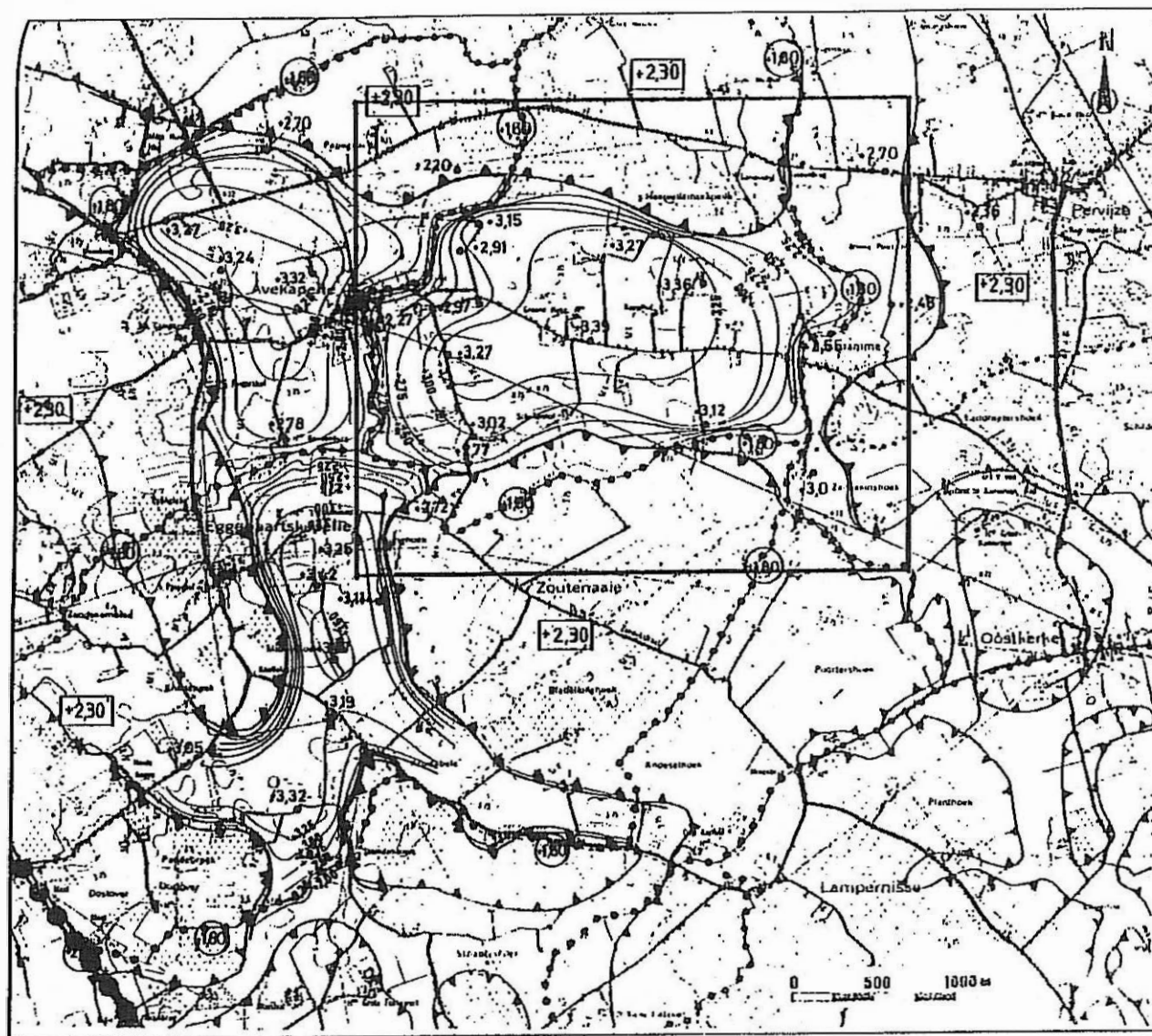
Figuur 4.1 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de huidige toestand in de winter



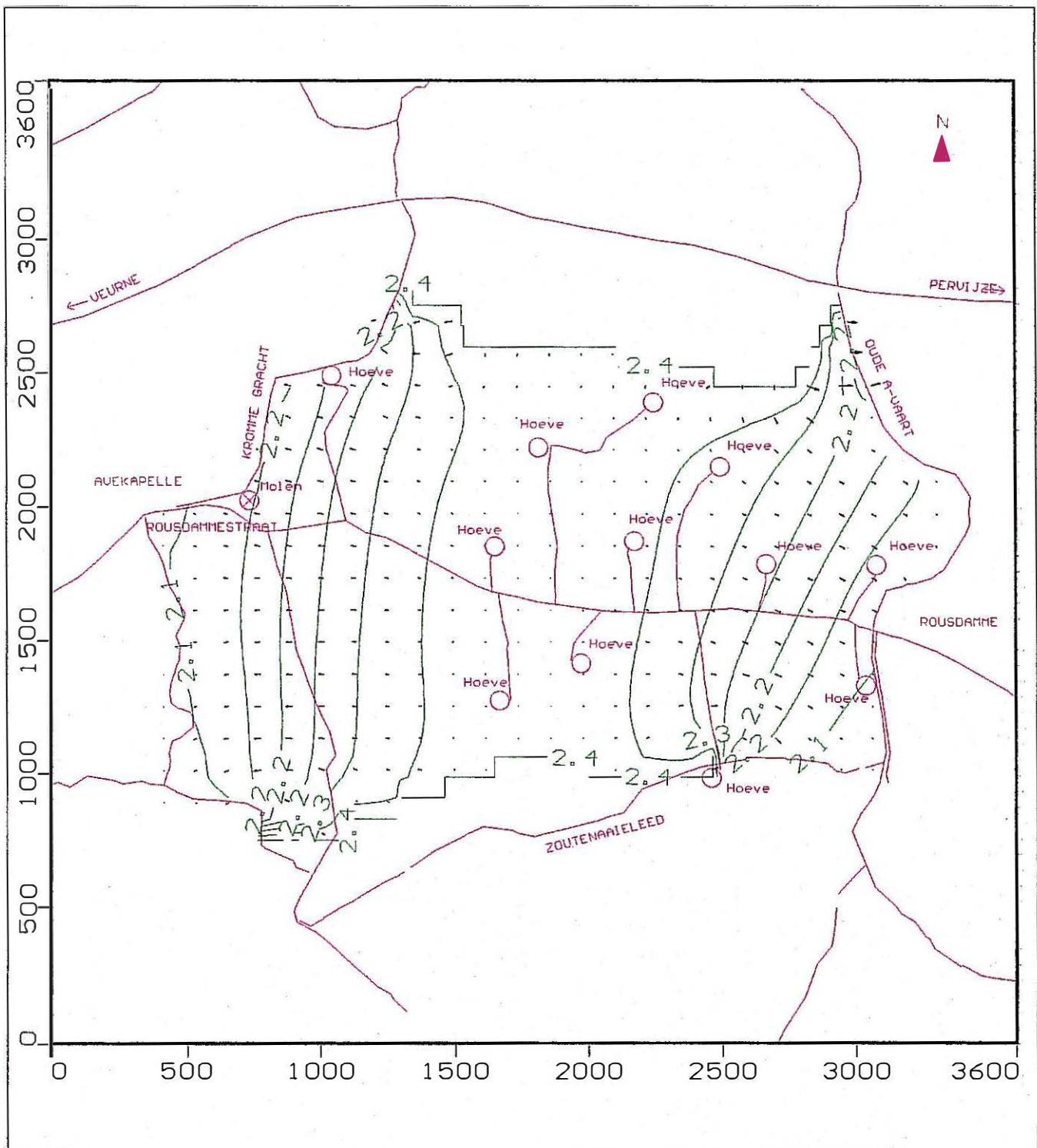
LEGENDE

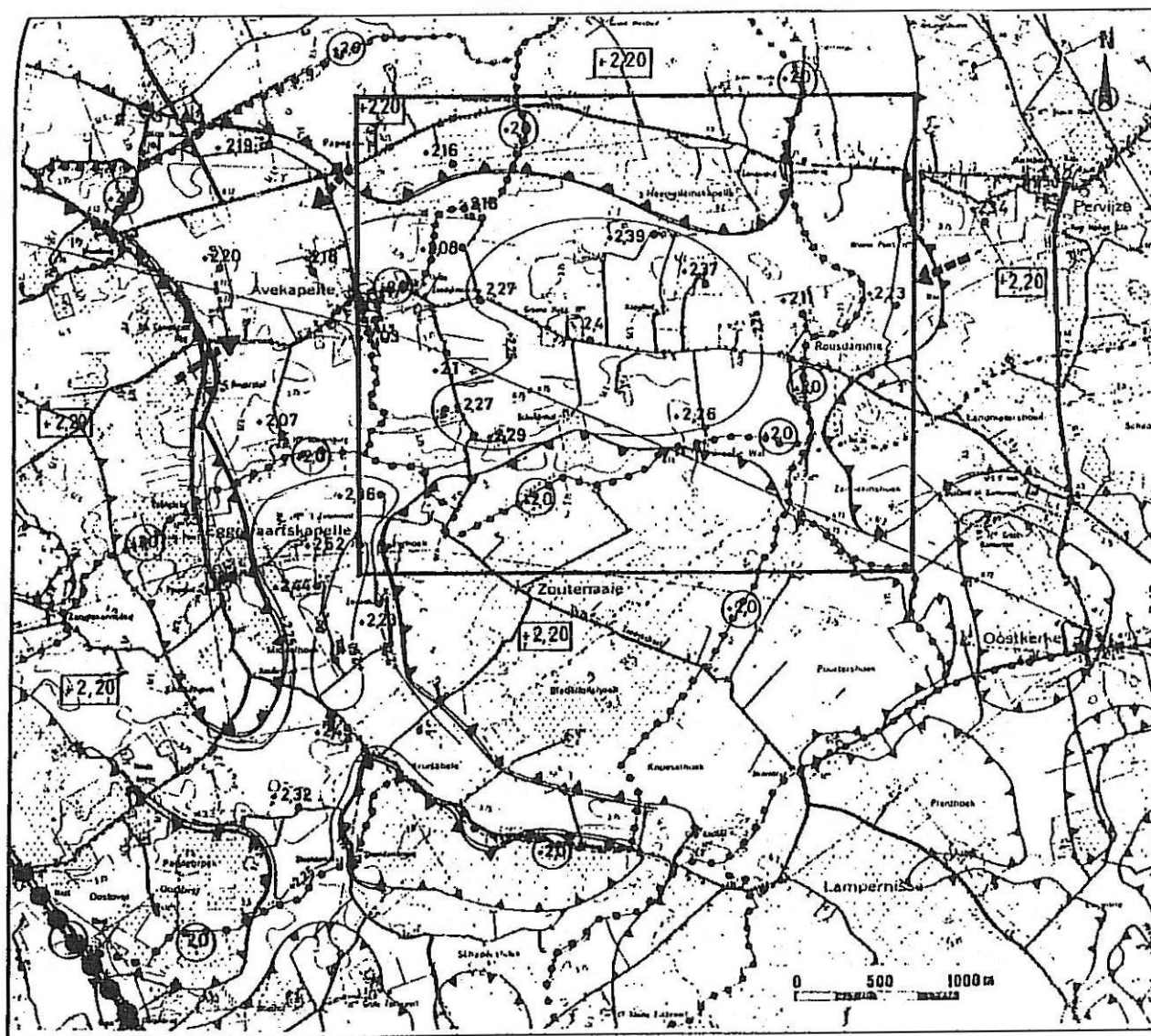
- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|  | lijn van gelijke zoetwaterstijg-hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25) |
|  | vermoedelijke lijn van gelijke zoetwaterstijg-hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25) |
|  | zoetwaterstijg-hoogte in de peolgronden |
|  | peil oppervlaktewater |
|  | stromingsric ting |
|  | vermoedelijke stromingsric ting |
|  | peilbuis aangewend bij het opmaken van de kaart |
|  | meetpunt oppervlaktewaterpeil aangewend bij het opmaken van de kaart |
|  | afwateringskanaal |
|  | gebied zonder oppervlakte-veen (kreekrug) |

Figuur 4.2
Zoetwaterstijghoogte op
8 januari 1987 op het peil
 $-1 \pm 1,5\text{m TAW}$ in het
testgebied



Figuur 4.3 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de huidige toestand in de zomer

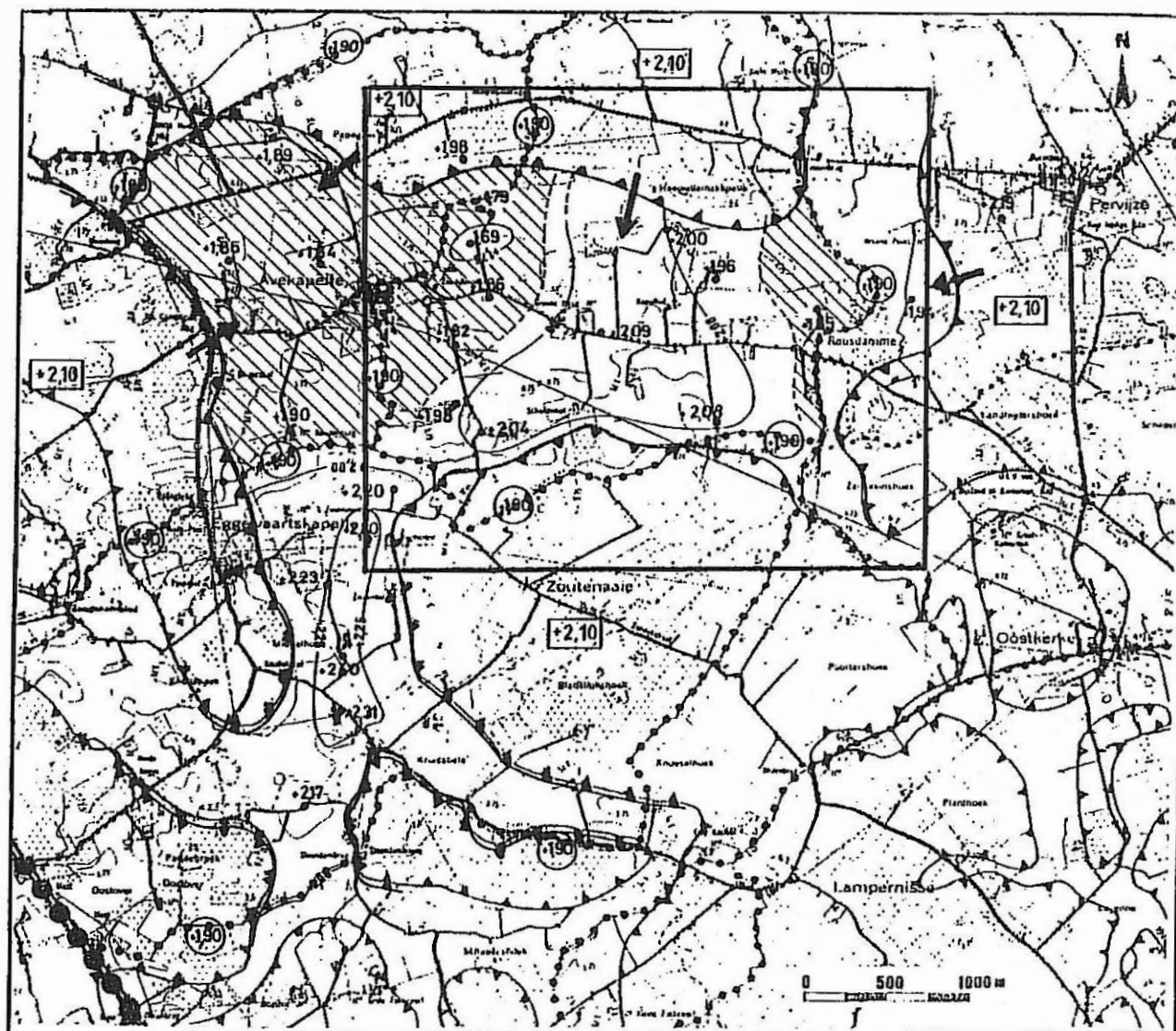




LEGENDE

- 225 — lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- - - 225 - - - vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
zoetwaterstijg-
hoogte in de
poelgronden
- [220] peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- - - → vermoedelijke stroming richting
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend voor het
opmaken van de kaart
- afwateringskanaal
- ◊ gebied zonder oppervlakte-
veen (kreek rug)

Figuur 4.4
Zoetwaterstijg-
hoogte op 4 juli
op het peil -1 ±1,5 m TAW in
het testgebied.



LEGENDE

- 2.25 — lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- 2.25 --- vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijghoogte
(gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2.10 zoetwaterstijghoogte in de
poelgronden
- +1.90 peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- vermoedelijke stromingsrichting
- zone met een zoetwaterstijg-
hoogte beneden het peil
van de afwateringskanalen
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- /// meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend bij het
opmaken van de kaart
- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

Figuur 4.5
Zoetwaterstijghoogte op 7 aug.
1986 op het peil -1±1,5m TAW
in het testgebied

4.2 Geplande toestand

Men dient er bij de hiernavolgende bespreking rekening mee te houden dat het innamekanaal op zich reeds een beduidende invloed op het stromingspatroon in heel het gebied heeft. De invloed ten gevolge van het innamekanaal (dus zonder pompings) en de vergelijking mét pomping is weergegeven in tabel 4.1. In tabel 4.2 zijn de stijghoogten in rust (zonder innamekanaal, zonder pompings) en in de geplande toestand (innamekanaal en pompings) om het half jaar vergeleken voor een periode van 6 jaar. De hoeven zijn genummerd zoals voorgesteld op figuur 4.6. De tijd-stijghoogtegrafieken in de huidige en de geplande toestand voor de dichtstbijgelegen hoeven (3, 4, 6 en 9) zijn voorgesteld op de figuren 4.7 tot en met 4.14.

In de wintermaanden, bij pomping, zal er een langgerekte afpompingsstrecther rond het kanaal en de pompputten ontstaan. De figuur 4.15 geeft de toestand weer in de bovenste watervoerende laag. De verlaging is weergegeven op figuur 4.16. De invloed van de pompings zelf zal merkbaar zijn tot op enkele honderden meters van de puttenbatterijen. In de onmiddellijke omgeving van de pompputten bedraagt de afpomping meer dan 1,5 m. De toestand blijft praktisch ongewijzigd na zes jaar (Fig. 4.17 & Fig 4.18).

Aan het einde van de zomer, vlak voor het weer heropstarten van de pompings blijft er zowel aan de noordzijde als aan de zuidzijde in de bovenste watervoerende laag een restverlaging (Fig. 4.19 & Fig. 4.20). Reden is waarschijnlijk de vrij hoge evapotranspiratie tijdens de zomer. De toestand blijft vrijwel dezelfde na zes jaar (Fig. 4.21 & Fig. 4.22).

De toestand in de onderste watervoerende laag is ongeveer van dezelfde aard.

Er is geen rekening gehouden met extreme omstandigheden. De hydraulische weerstand tussen kanaal en grondwaterreservoir is zeer klein verondersteld.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met het feit dat de nuttige neerslag in de omgeving van de pomping zal toenemen. De verlagingen zullen in de praktijk dus kleiner zijn, wat ook bevestigd lijkt te worden door de resultaten van proefpompings uitgevoerd door de IWVA.

Het betreft hier in ieder geval berekeningen voor de stijghoogte in de bovenste watervoerende laag. Men mag dit niet verwarren met de capillaire opstijging, belangrijk voor de gewassen. In een kleiig poldergebied is de capillaire opstijging een veelvoud van de hier berekende verlagingen.

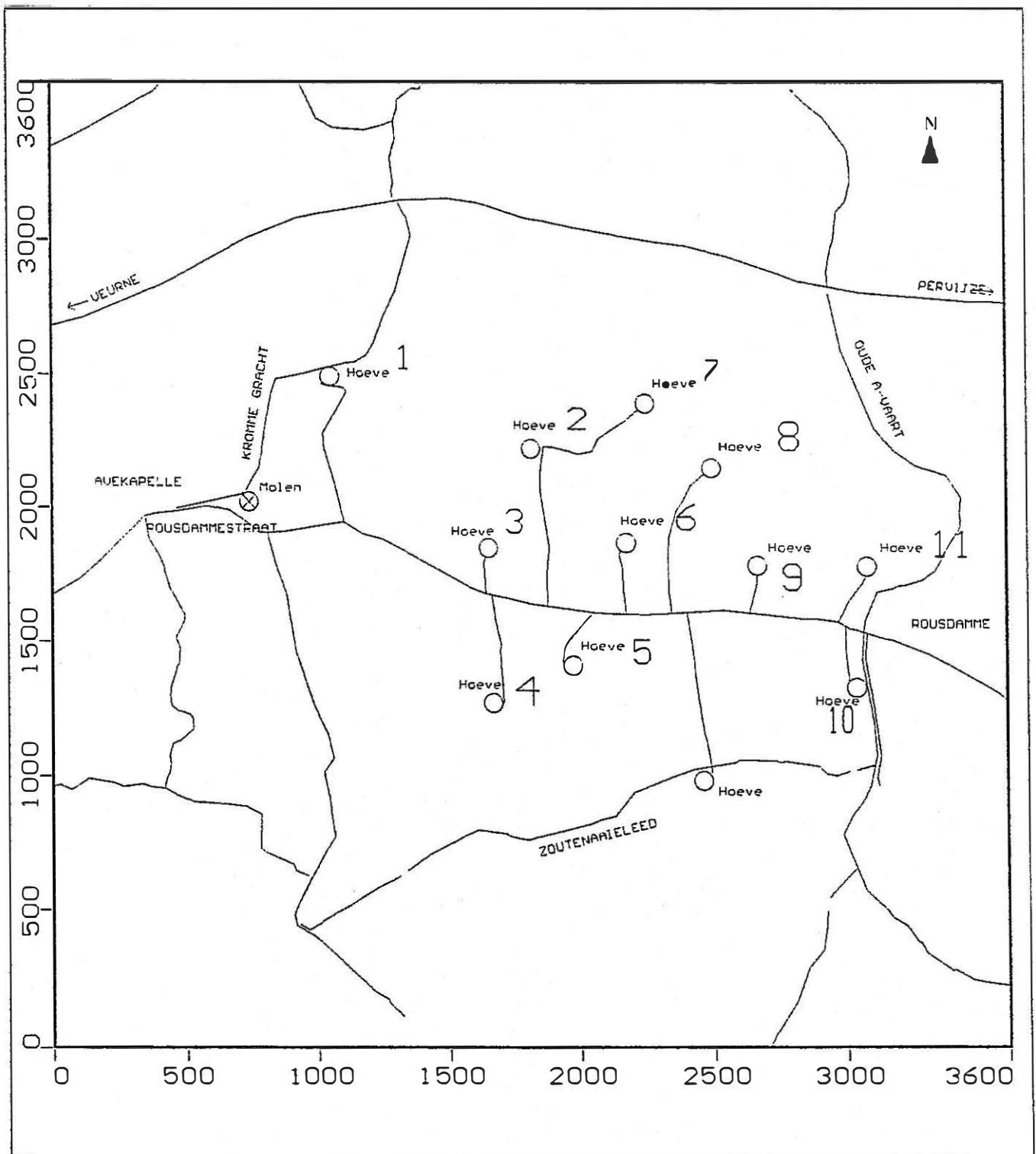
Tabel 4.1 -Vergelijking van de verlagingen met en zonder pumping ter hoogte van de hoeven

Hoeve	huidige toestand		geplande toestand enkel met kanaal		Verlaging door kanaal (m)		geplande toestand met kanaal en pumping		totale verlaging (m)		verlaging ten gevolge van pumping (m)	
	maart	september	maart	september	maart	september	maart	september	maart	september	maart	september
1	+2,9	+2,2	+2,5	+2,1	0,4	0,1	+2,0	+1,9	0,9	0,3	0,5	0,2
2	+3,2	+2,4	+2,6	+2,2	1,0	0,2	+1,9	+1,9	1,3	0,5	0,3	0,3
3	+3,4	+2,4	+2,1	+2,1	1,3	0,3	+0,7	+1,7	2,7	0,7	1,4	0,4
4	+3,2	+2,4	+2,5	+2,1	0,7	0,3	+1,6	+1,7	1,6	0,7	0,9	0,4
5	+3,3	+2,4	+2,2	+2,1	1,1	0,3	+1,1	+1,6	2,2	0,8	1,1	0,5
6	+3,3	+2,4	+2,3	+2,1	1,0	0,3	+1,2	+1,7	2,1	0,7	1,1	0,4
7	+2,7	+2,4	+2,5	+2,3	0,2	0,1	+2,3	+2,2	0,4	0,2	0,2	0,1
8	+3,0	+2,3	+2,5	+2,2	0,5	0,1	+2,0	+2,0	1,0	0,3	0,5	0,2
9	+3,0	+2,3	+2,2	+2,1	0,8	0,2	+1,0	+1,9	2,0	0,4	1,2	0,2
10	+2,1	+2,1	+2,0	+2,1	0,1	0	+1,7	+2,0	0,4	0,1	0,3	0,1
11	+2,3	+2,1	+2,2	+2,1	0,1	0	+1,7	+2,0	0,6	0,1	0,5	0,1

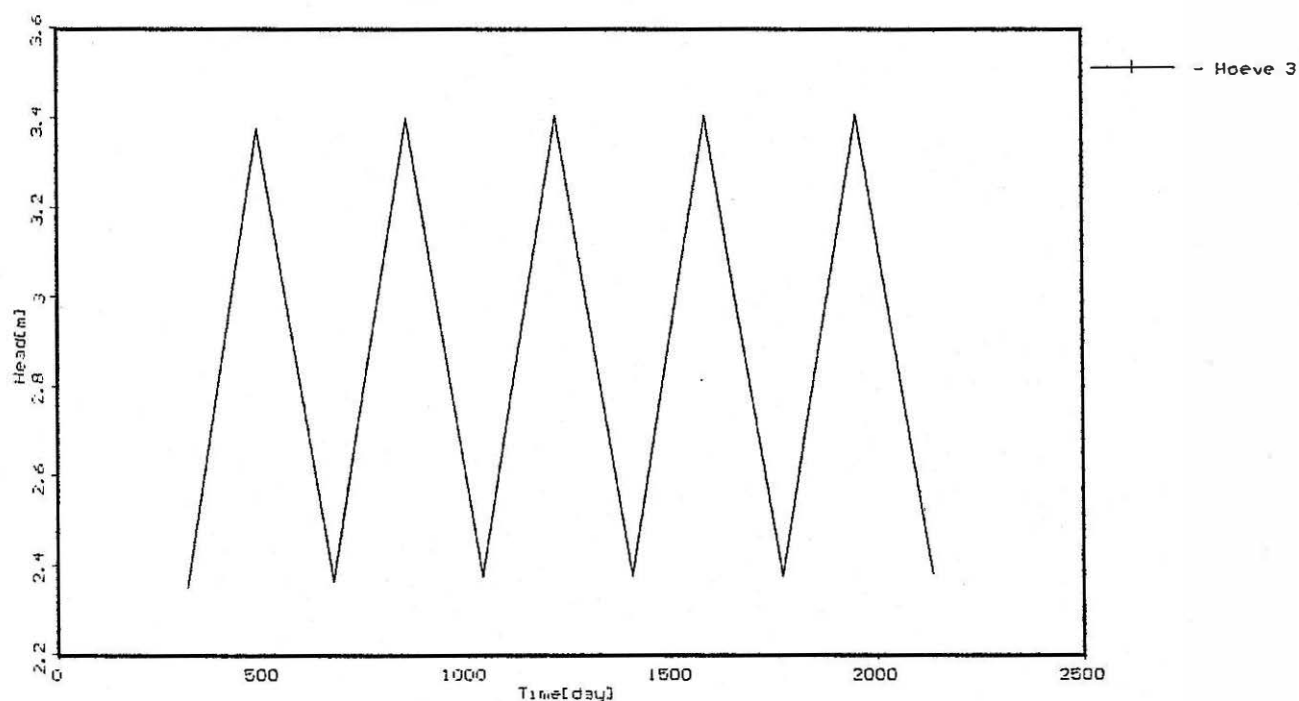
Tabel 4.2 - Vergelijking watertafel in de huidige en in de geplande toestand en de te verwachten verlaging ter hoogte van de boeven

Hoeve	huidige toestand		maart 1999	september 1999	maart 2000	september 2000	maart 2001	september 2001	maart 2002	september 2002	maart 2003	september 2003	maart 2004	september 2004	Verlaging (m)	
	maart	september													maart	september
1	+2,9	+2,2	+2,1	+1,9	+2,0	+1,9	+2,0	+1,9	+2,0	+1,9	+2,0	+1,9	+2,0	+1,9	0,9	0,3
2	+3,2	+2,4	+2,0	+2,0	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	+1,9	1,3	0,5
3	+3,4	+2,4	+1,0	+1,8	+0,7	+1,7	+0,7	+1,7	+0,7	+1,7	+0,7	+1,7	+0,7	+1,7	2,7	0,7
4	+3,2	+2,4	+1,9	+1,8	+1,6	+1,7	+1,6	+1,7	+1,6	+1,7	+1,6	+1,7	+1,6	+1,7	1,6	0,7
5	+3,3	+2,4	+1,3	+1,7	+1,1	+1,6	+1,1	+1,6	+1,1	+1,6	+1,1	+1,6	+1,1	+1,6	2,2	0,8
6	+3,3	+2,4	+1,4	+1,8	+1,2	+1,7	+1,2	+1,7	+1,2	+1,7	+1,2	+1,7	+1,2	+1,7	2,1	0,7
7	+2,7	+2,4	+2,3	+2,2	+2,3	+2,2	+2,3	+2,2	+2,3	+2,2	+2,3	+2,2	+2,3	+2,2	0,4	0,2
8	+3,0	+2,3	+2,1	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0	1,0	0,3
9	+3,0	+2,3	+1,1	+1,9	+1,0	+1,9	+1,0	+1,9	+1,0	+1,9	+1,0	+1,9	+1,0	+1,9	2,0	0,4
10	+2,1	+2,1	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	0,4	0,1
11	+2,3	+2,1	+1,8	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	+1,7	+2,0	0,6	0,1

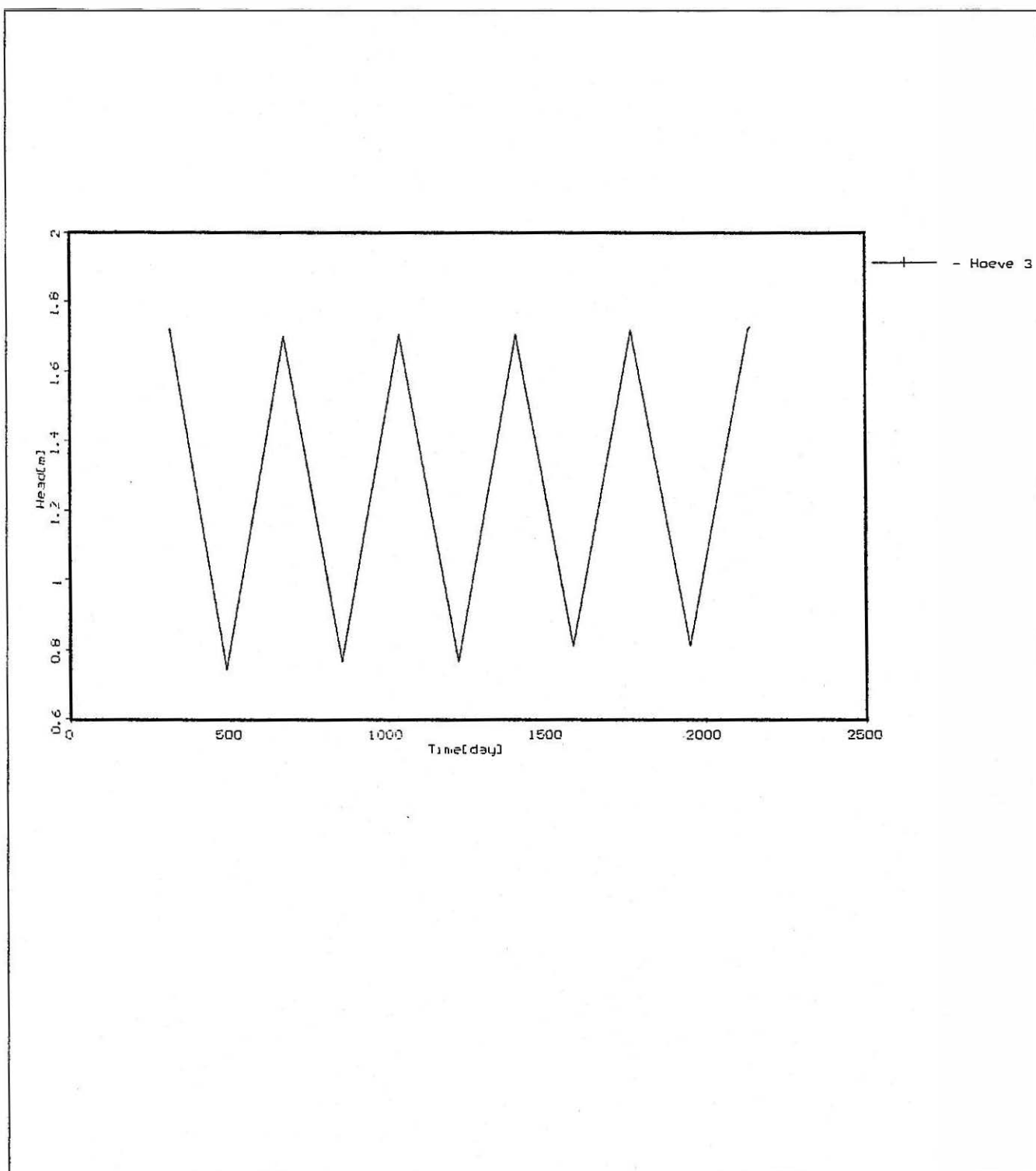
Figuur 4.6 - Nummering van de hoeven



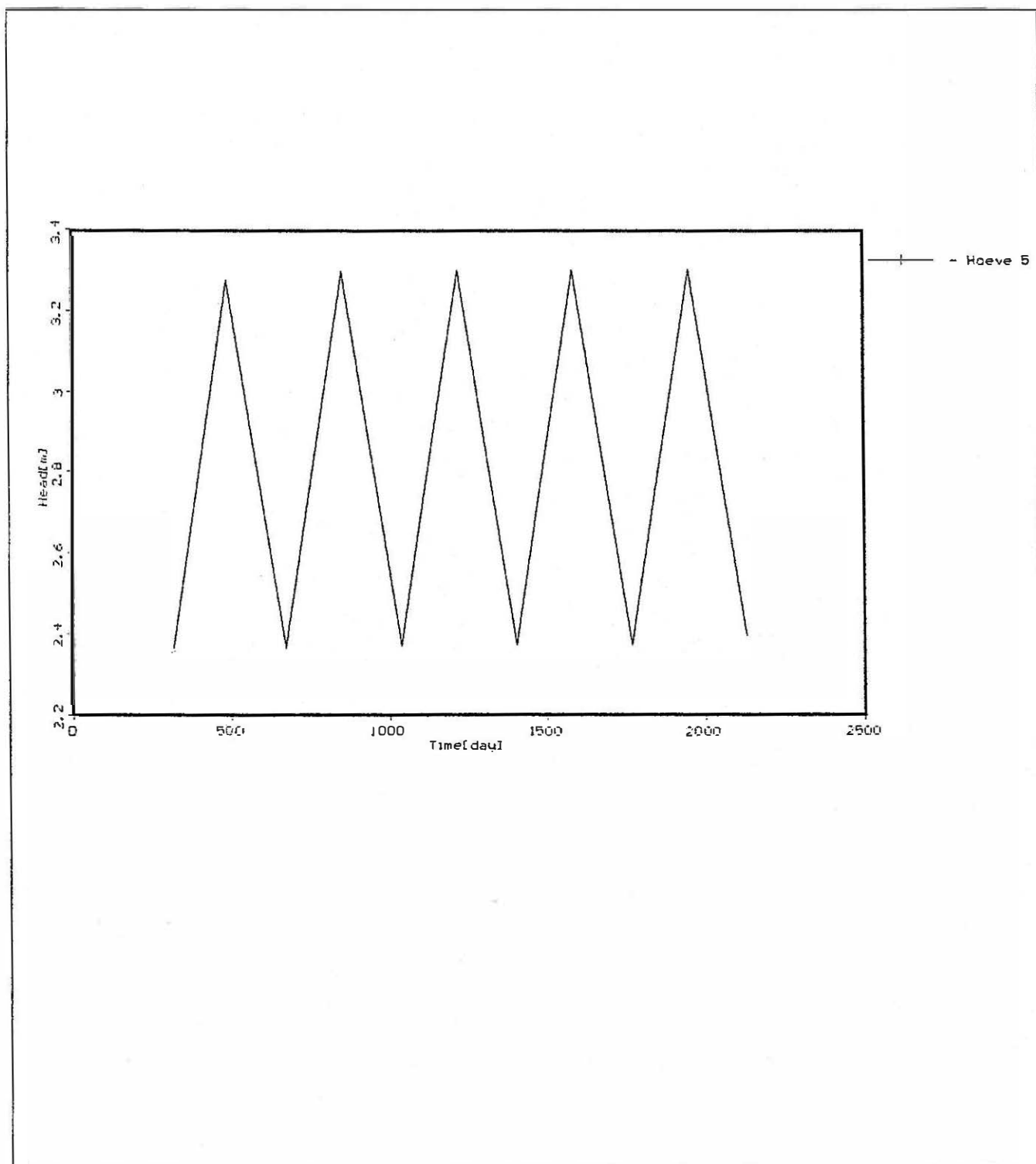
Figuur 4.7 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 3



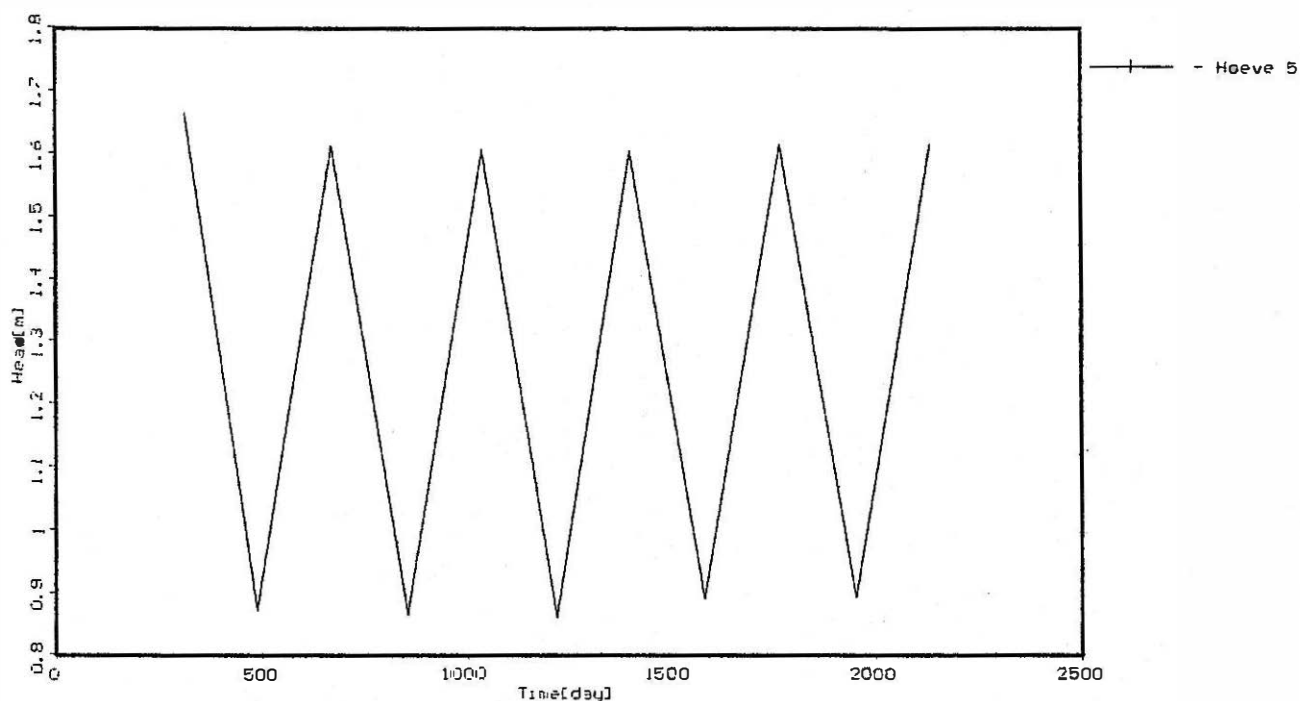
Figuur 4.8 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 3



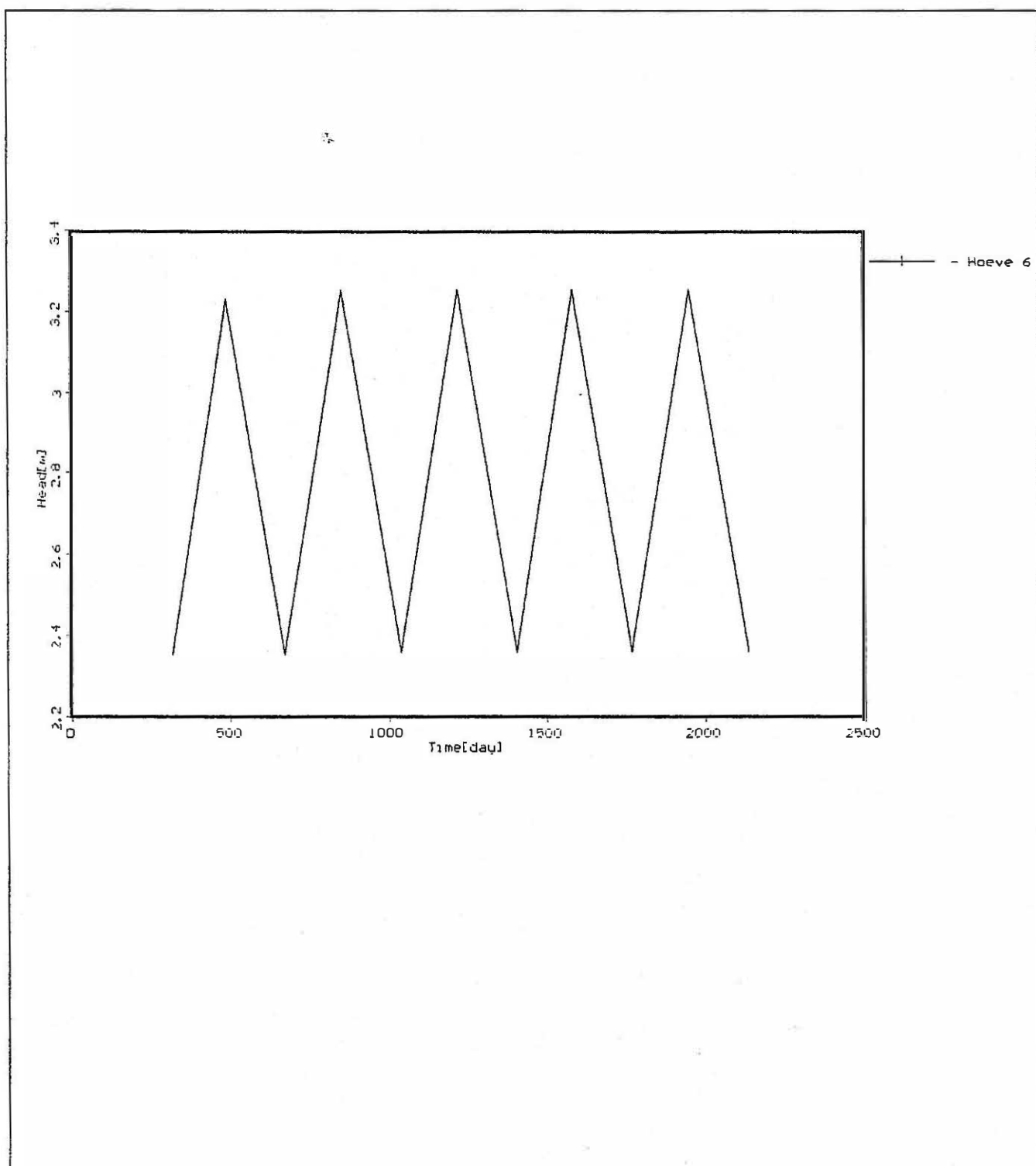
Figuur 4.9 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 5



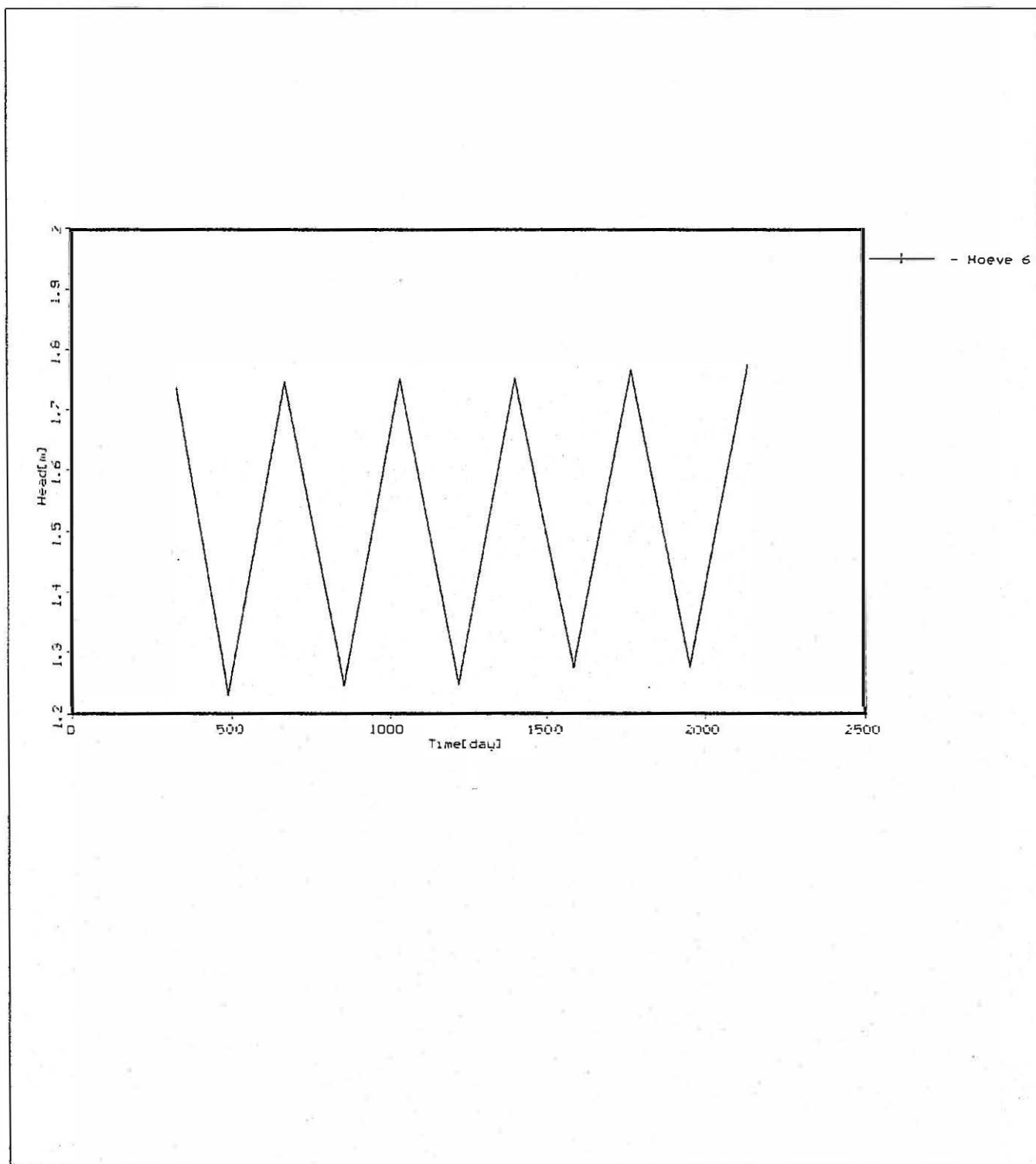
Figuur 4.10 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 5



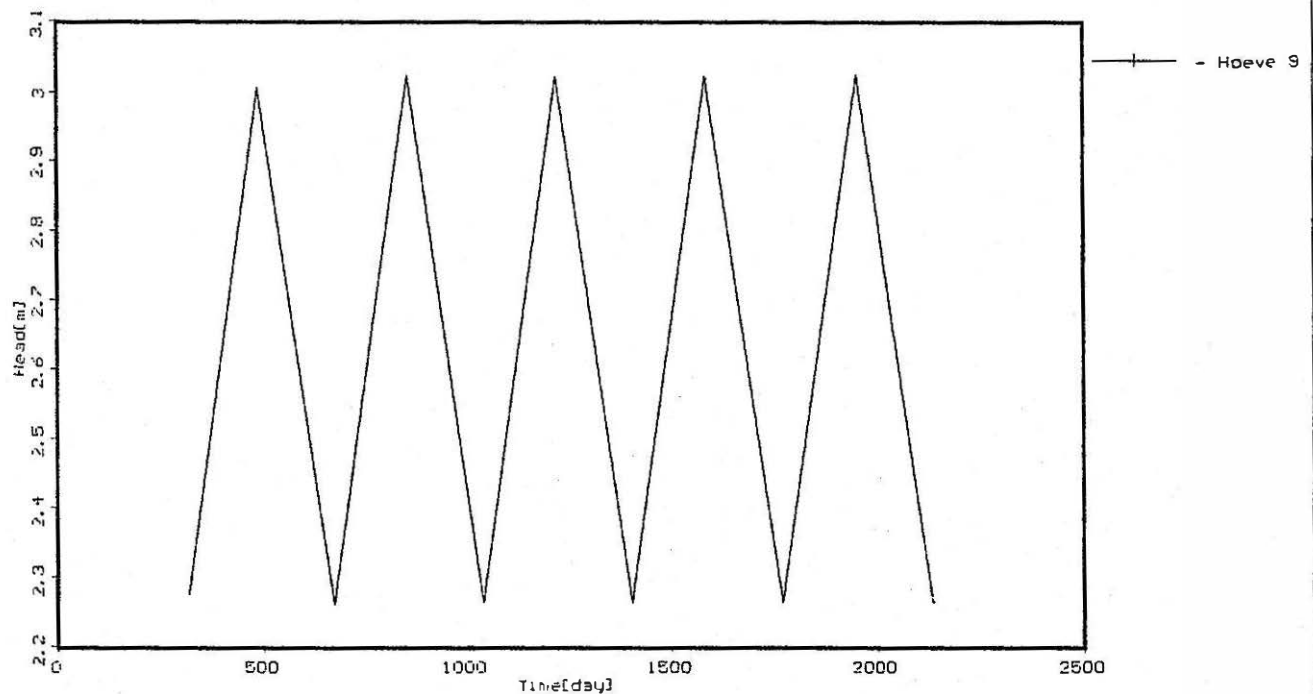
Figuur 4.11 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 6



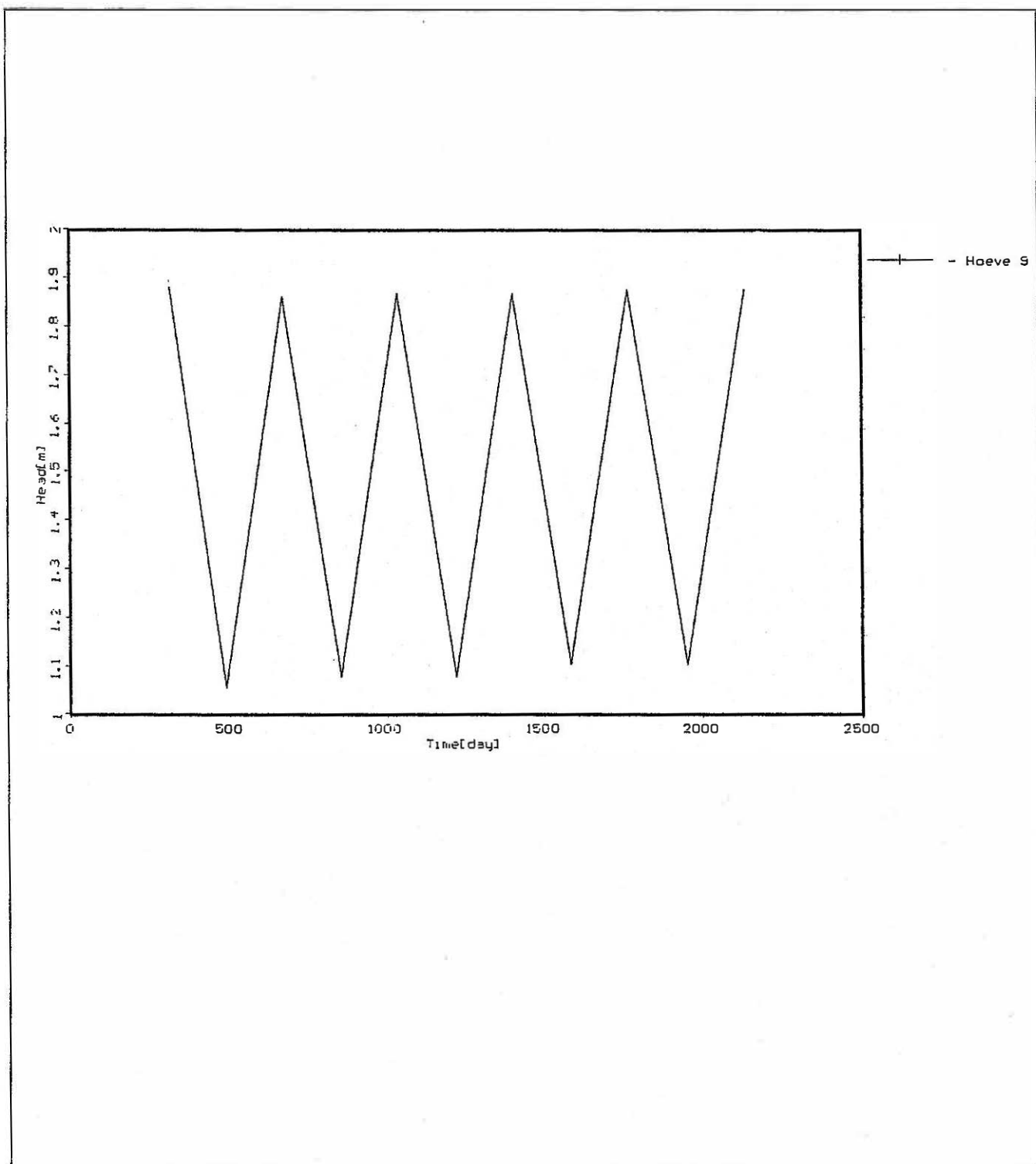
Figuur 4.12 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 6



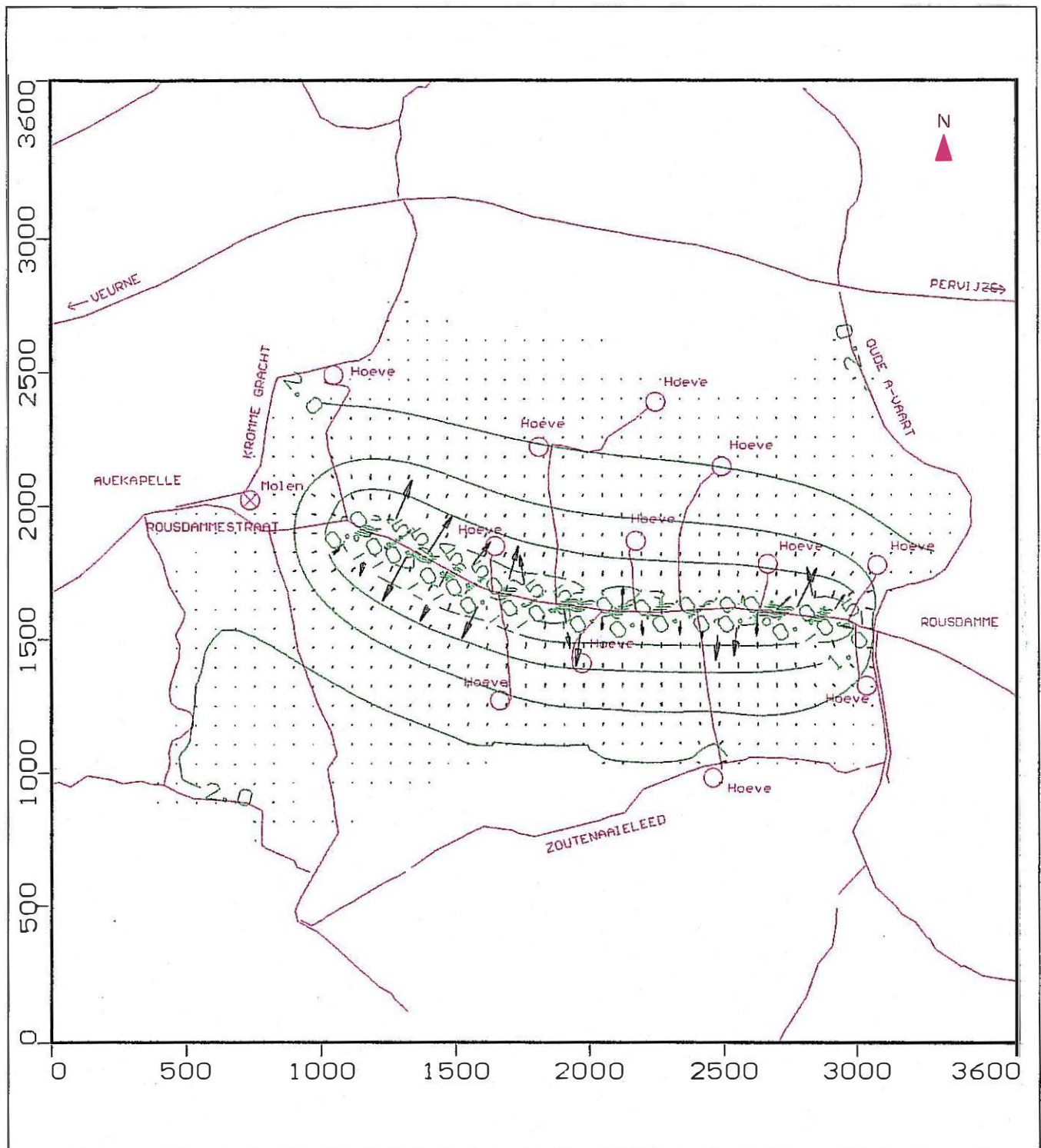
Figuur 4.13 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de huidige toestand ter hoogte van hoeve 9



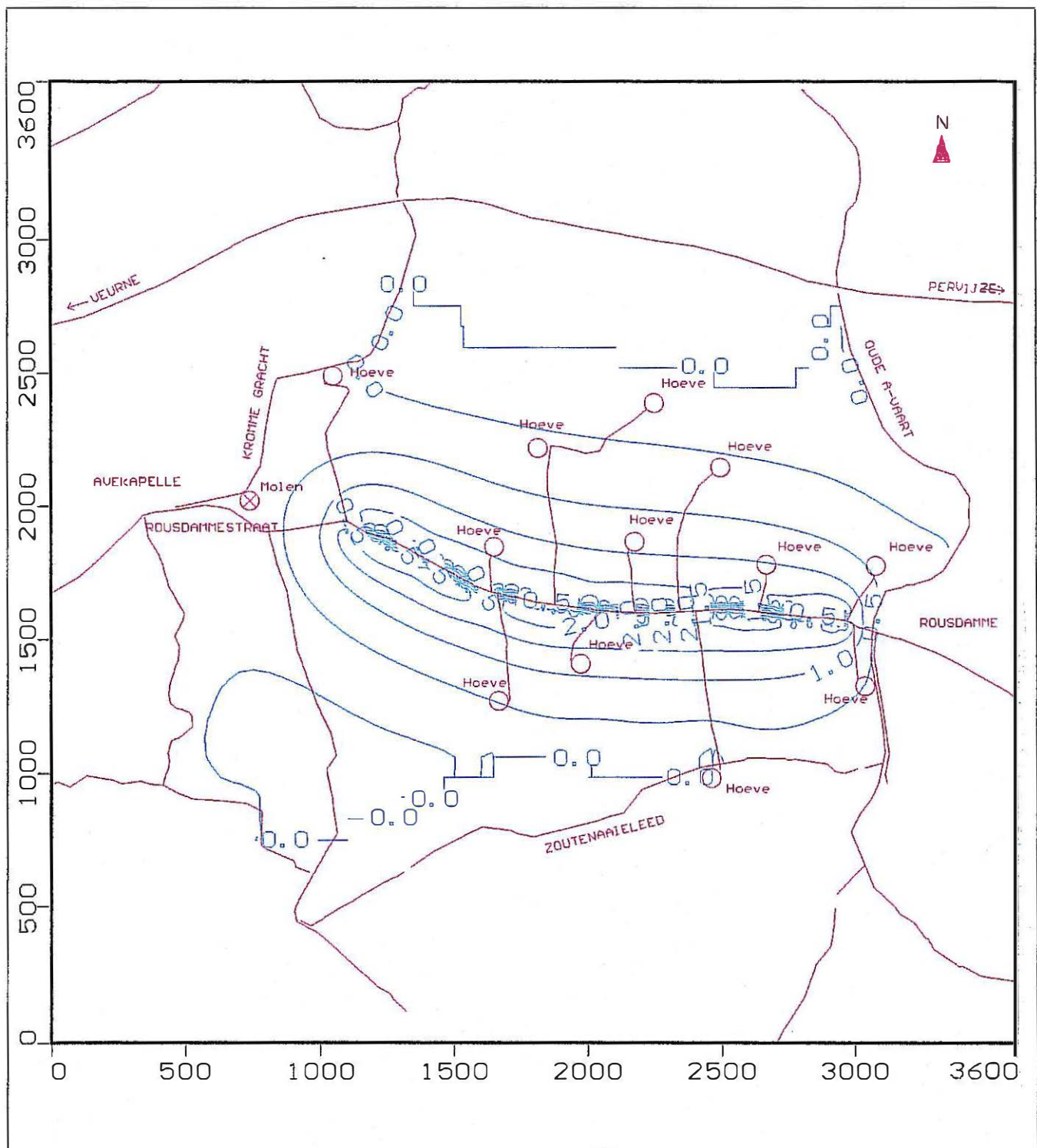
Figuur 4.14 - Tijd-stijghoogtegrafiek in de geplande toestand ter hoogte van hoeve 9



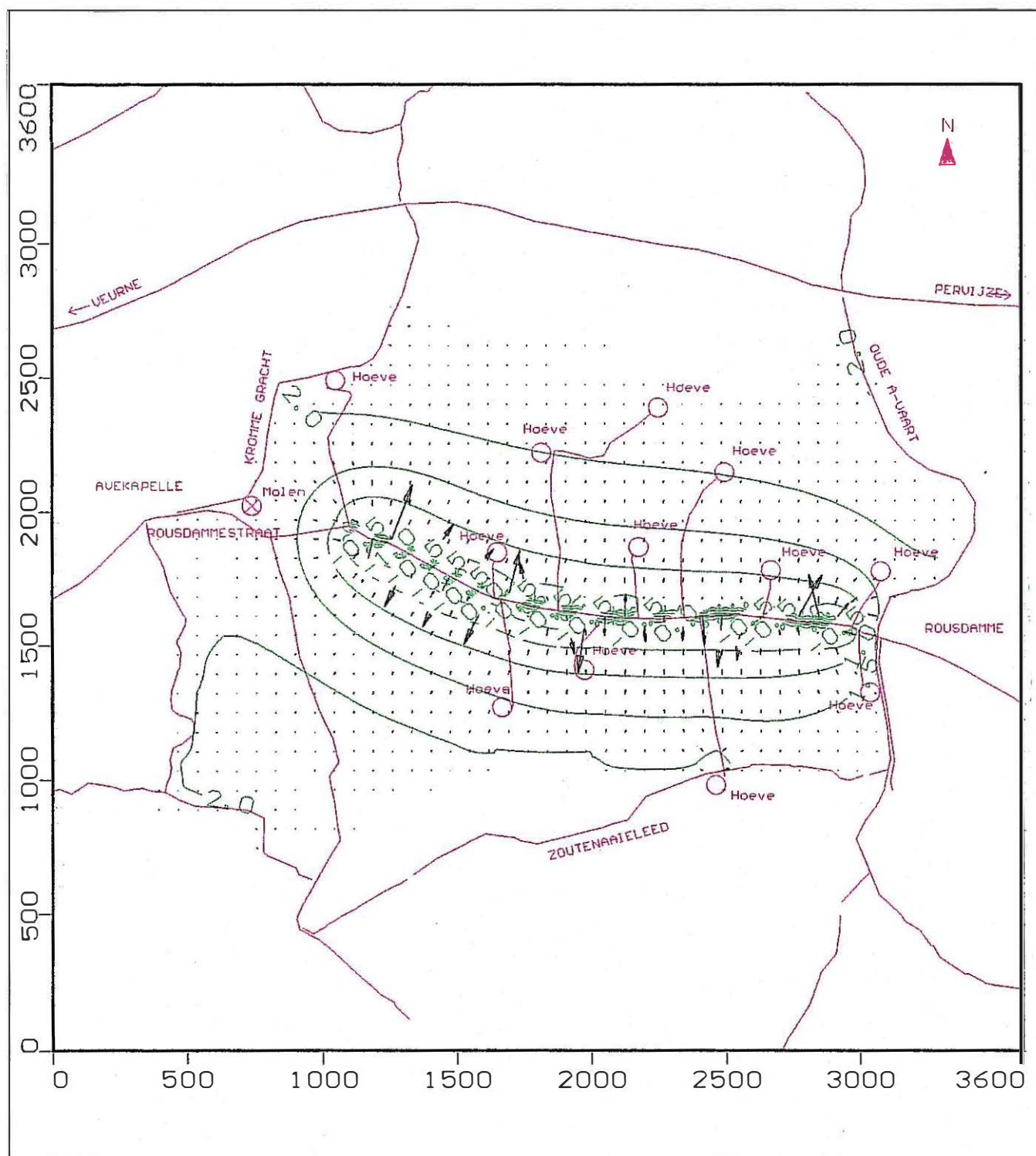
Figuur 4.15 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de winter



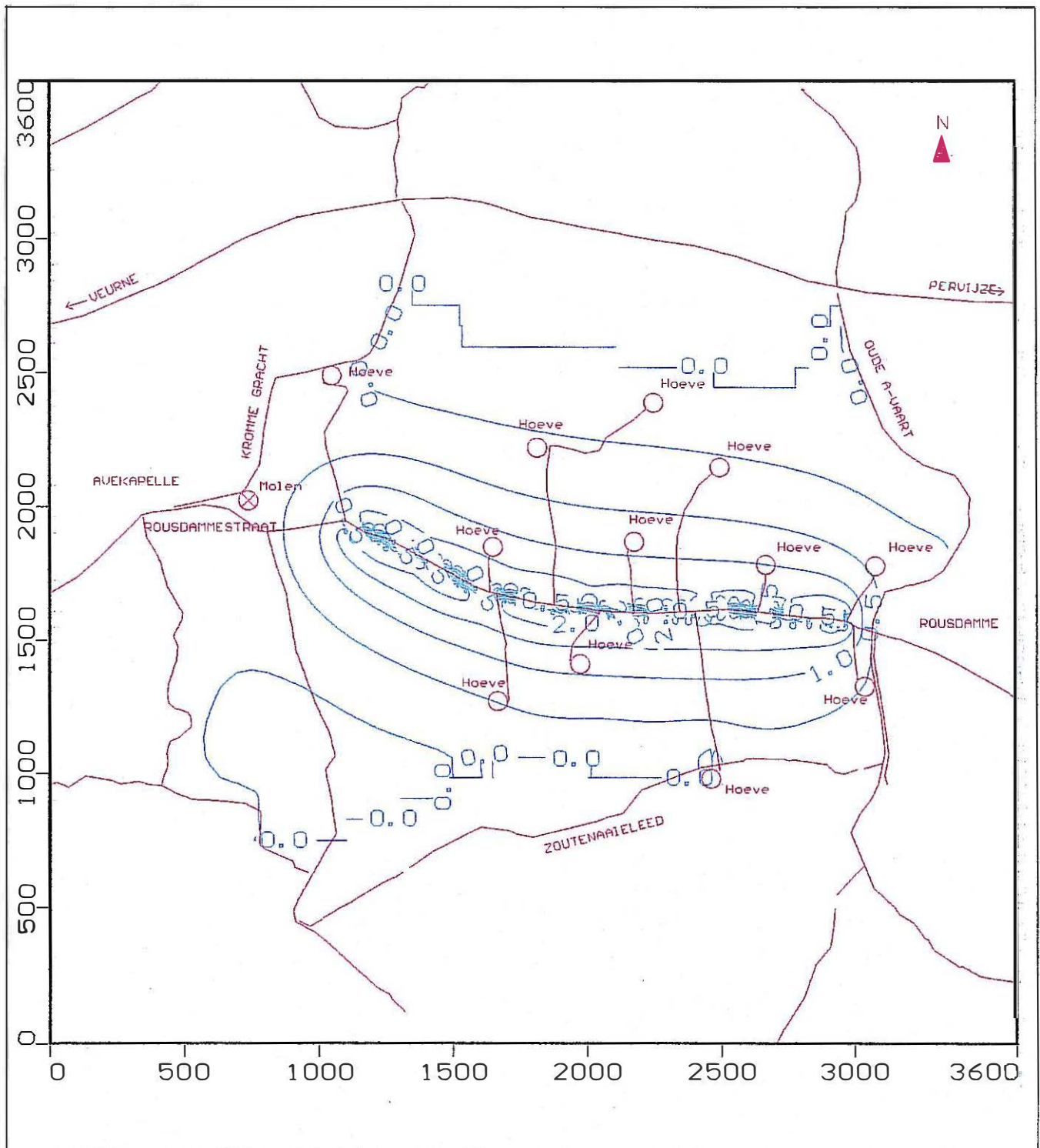
Figuur 4.16 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de winter



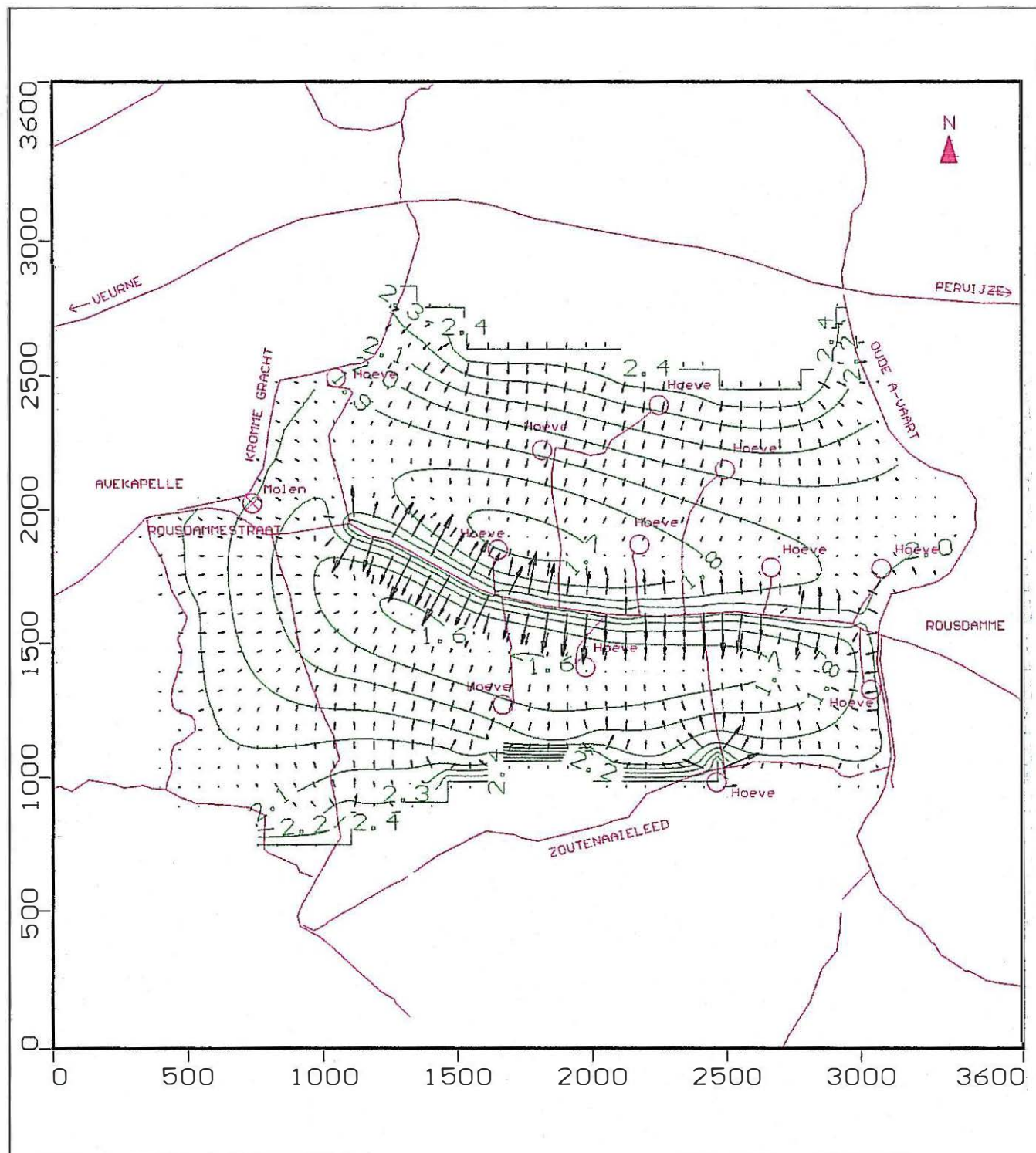
Figuur 4.17 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de winter, na 6 jaar



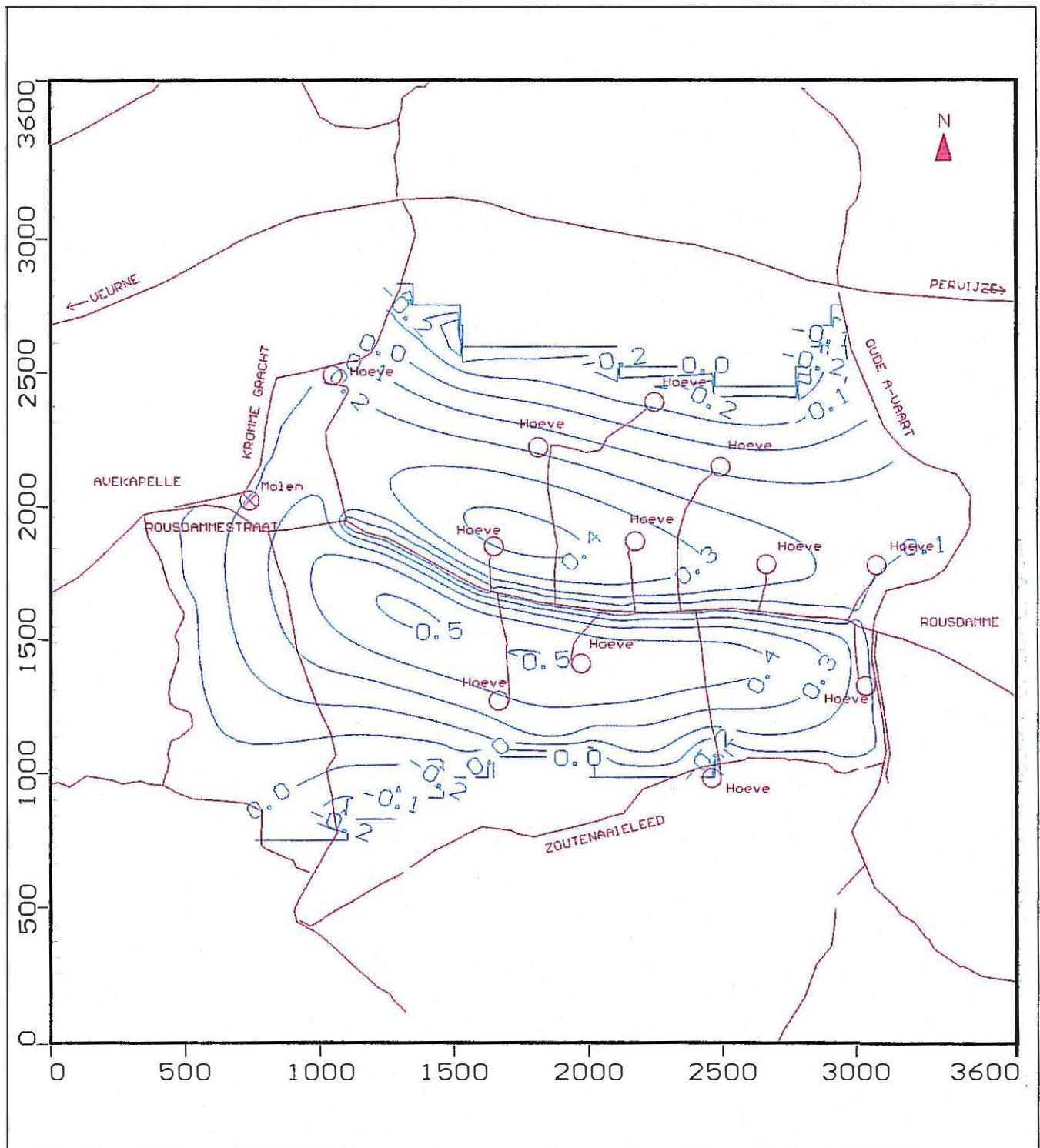
Figuur 4.18 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de winter, na 6 jaar



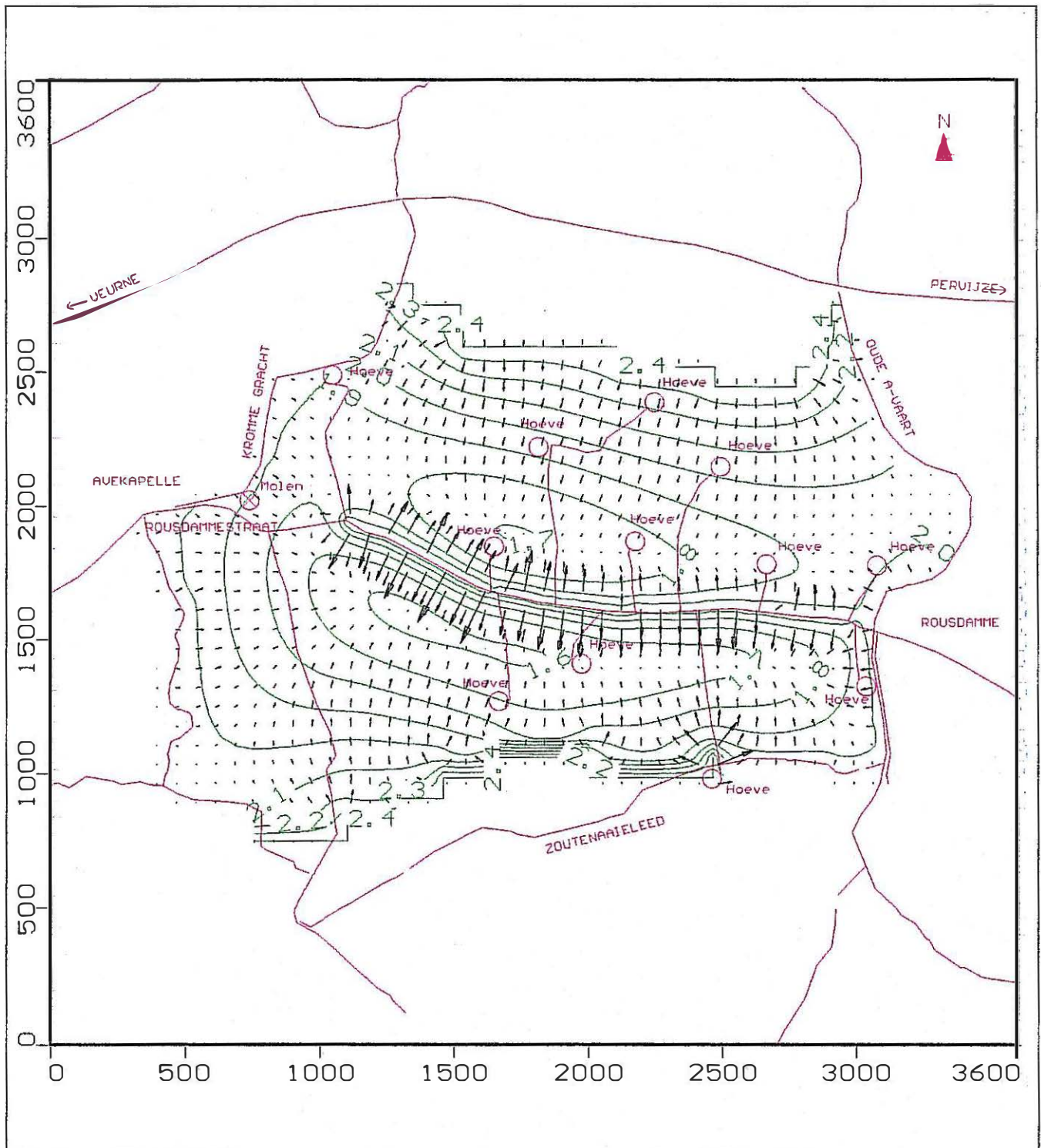
Figuur 4.19 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de zomer



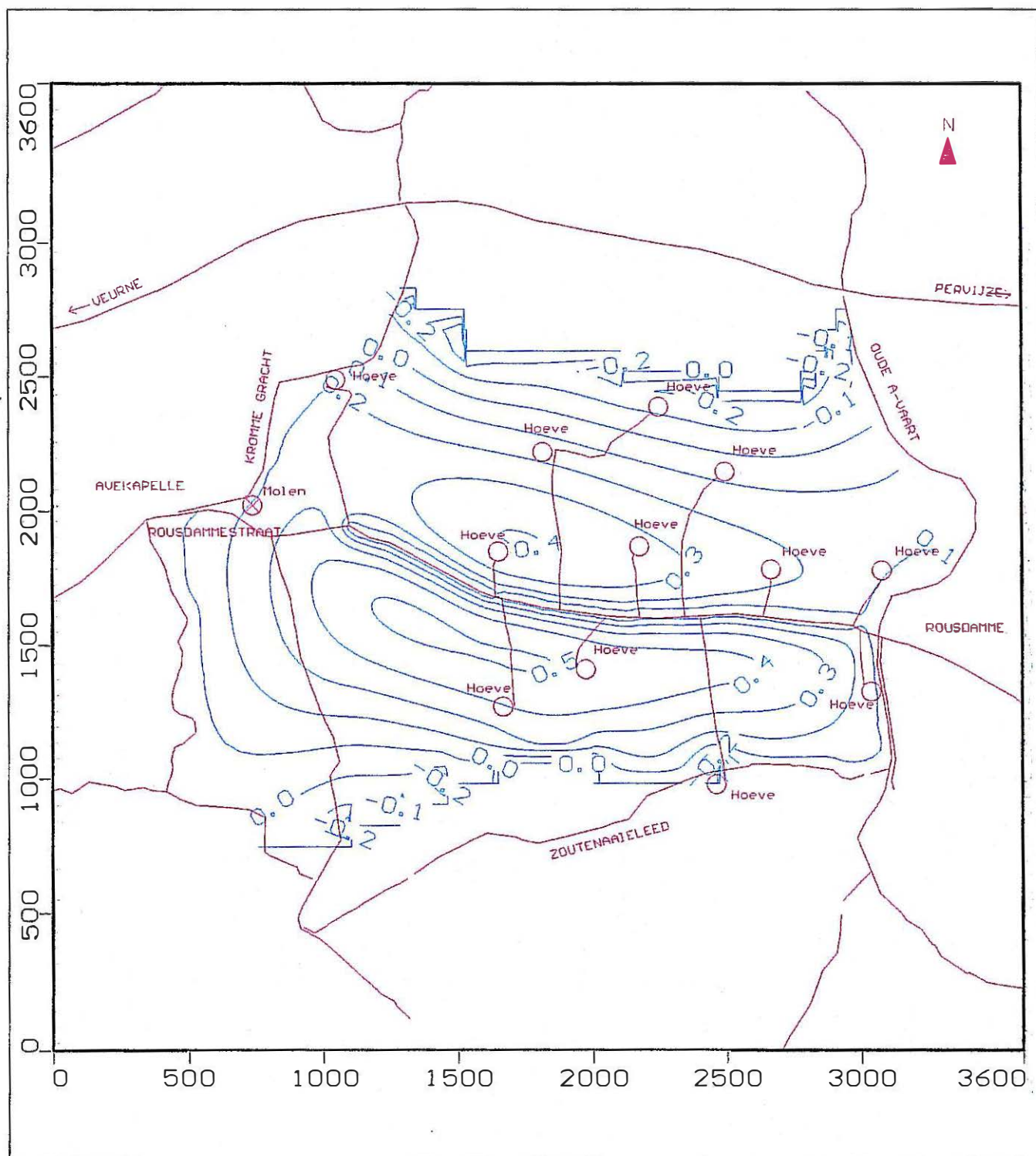
Figuur 4.20 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de zomer



Figuur 4.21 - Berekend grondwaterstromingspatroon in de geplande toestand in de zomer, na 6 jaar



Figuur 4.22 - Berekende verlaging in de geplande toestand in de zomer, na 6 jaar



5. Beschouwingen omtrent debieten

Bij de hiernavolgende bespreking dient men er rekening mee te houden dat er in het model geen toename van de nuttige neerslag wordt berekend bij pumping. De genoemde cijfers moeten opgevat worden als ramingen.

5.1 Toestand van de waterlopen

5.1.1 Kromme Gracht

De invloed van de Kromme Gracht op het grondwaterreservoir is samengevat in tabel 5.1.

Tabel 5.1 - Invloed van de Kromme Gracht op het grondwaterreservoir

	Huidige toestand		Geplande toestand	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter
Irrigatie (m³/d)	15	0	93	0
Drainage (m³/d)	20	424	7	208

De pumpingen in de winter zullen de drainage van het grondwater met ca. 50 % doen verminderen. Deze debieten zijn marginaal t.o.v. de debieten nodig voor het in stand houden van het peil in het geplande innamekanaal (5.1.4). Deze laatste waterstroom zal waarschijnlijk ook via de Kromme Gracht verlopen.

5.1.2 Oude A-Vaart

De invloed van de Oude A-Vaart op het grondwaterreservoir is samengevat in tabel 5.2.

Tabel 5.2 - Invloed van de Oude A-Vaart op het grondwaterreservoir

	Huidige toestand		Geplande toestand	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter
Irrigatie (m³/d)	10	0	61	117
Drainage (m³/d)	26	288	19	109

Zowel in de zomer, als in de winter zal de irrigatie van het grondwaterreservoir groter zijn, in de eerste plaats in de omgeving van de Rousdammestraat. Drainage van het grondwaterreservoir gebeurt nog bijna uitsluitend in het noordoosten.

5.1.3 Zoutenaaielood

De invloed van het Zoutenaaielood op het grondwaterreservoir is samengevat in tabel 5.3. Merk op dat het hier enkel gaat om het gedeelte in het zuidoosten dat zich niet in de poelgronden bevindt.

Tabel 5.3 - Invloed van het Zoutenaaielood op het grondwaterreservoir

	Huidige toestand		Geplande toestand	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter
Irrigatie (m³/d)	2	0	26	4
Drainage (m³/d)	24	136	15	42

De pompelingen in de winter zullen de drainage van het grondwater fel doen verninderen. De invloed van de gracht op het grondwaterreservoir zal in de zomer toenemen.

5.1.4 Innamekanaal

De invloed van het innamekanaal op het grondwaterreservoir is samengevat in tabel 5.4.

Tabel 5.4 - Invloed van het innamekanaal op het grondwaterreservoir

	Huidige toestand		Geplande toestand	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter
Irrigatie (m³/d)	-	-	1.032	10.557
Drainage (m³/d)	-	-	0	ca. 0

Men merkt op dat in de geplande toestand het verband oppervlaktewater-grondwater bijna volledig bepaald wordt door het innamekanaal.

5.1.5 Besluit

Men kan besluiten dat er, ten gevolge van oppervlaktewater-grondwaterstroming in het modelgebied, in de winter ca. 10.300 m³/d water zal moeten aangevoerd worden, daar waar er in de huidige toestand nog ca. 850 m³/d afgevoerd werd. In de zomer dient ca. 1.200 m³/d aangevoerd te worden daar waar er in de huidige toestand nog in totaal 40 m³/d afgevoerd wordt.

5.2 Massabalans

In tabel 5.5 is de massabalans opgenomen voor een winterperiode in de huidige en geplande toestand.

Tabel 5.5 - Vergelijking van de massabalans voor de huidige en geplande toestand in de winter

	Huidige toestand		Geplande toestand	
	IN model	UIT model	IN model	UIT model
Nuttige neerslag (m³/d)	1.593	0	1.593	0
Berging (m³/d)	11	366	1.279	33
Poelgronden (m³/d)	67	456	287	3
Kanalen (m³/d)	0	848	10.680	362
Pomping (m³/d)	-	-	0	13.440

Men kan besluiten dat het grootste gedeelte van het op te pompen water afkomstig zal zijn van het innamekanaal, doch de berging en de nuttige neerslag leveren eveneens een relatief belangrijke bijdrage.

In tabel 5.6 is de massabalans opgenomen voor een zomerperiode in de huidige en geplande toestand.

Tabel 5.6 - Vergelijking van de massabalans voor de huidige en geplande toestand in de zomer

	Huidige toestand		Geplande toestand	
	IN model	UIT model	IN model	UIT model
Nuttige neerslag (m³/d)	0	413	0	413
Berging (m³/d)	338	12	52	1.204
Poelgronden (m³/d)	130	0	394	0
Kanalen (m³/d)	27	70	1.212	42
Pomping (m³/d)	-	-	-	-

Men kan besluiten dat het grootste gedeelte van het geïrrigeerde water, afkomstig van het innamekanaal gebruikt zal worden voor de aanvulling (berging) van het grondwaterreservoir.

6. Besluit

Een stromingsmodel ten behoeve van de IWVA is opgesteld voor de geplande winning van infiltratiewater ter hoogte van de Avekapellekreek. Het gebruikte model is visualMODFLOW.

Voor de invoerparameters is gebruik gemaakt van bestaande gegevens: een doctoraatsthesis en enkele studies van het LTGH in samenwerking met de IWVA in het studiegebied. Een aantal invoerparameters zijn aangepast of bepaald bij de calibratie van het model.

In de huidige toestand heeft men in de winter een radiale stroming vanuit het centrum van het gebied naar de omringende kanalen en poelgronden toe. De grondwatersnelheden zijn het grootst nabij de kanalen en poelgebieden. In de zomer is er nog een radiale stroming te merken, doch de grondwatersnelheden zijn uiterst klein. Irrigatie door de kanalen en/of poelgronden kan plaatselijk vastgesteld worden.

In de geplande toestand verandert het stromingspatroon drastisch. In de winter, bij winning, treft men een langgerekte afpompingsstrecther rond de winningen aan. De invloed van de winningen is waarneembaar tot op ca. 500 tot 600 m van de winning. De invloed van het innamekanaal op zich is reeds waarneembaar in praktisch gans het gebied. In de omgeving van de winning kunnen zich verlagingen tot meer dan 1,5 m diepte voordoen. In de zomer blijft er een restverlaging bestaan zowel ten noorden als ten zuiden van de winning. Er is geen rekening gehouden met extreme omstandigheden. De hydraulische weerstand tussen kanaal en grondwaterreservoir is zeer klein verondersteld. Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met het feit dat de nuttige neerslag in de omgeving van de pumping zal toenemen. De verlagingen zullen in de praktijk dus kleiner zijn, wat ook bevestigd lijkt te worden door de resultaten van proefpompingen uitgevoerd door de IWVA. Het betreft hier in ieder geval berekeningen voor de stijghoogte in de bovenste watervoerende laag. Men mag dit niet verwarren met de capillaire opstijging, belangrijk voor de gewassen. In een kleiig poldergebied is de capillaire opstijging een veelvoud van de hier berekende verlagingen.

Berekening van debieten wijst uit dat het verband oppervlaktewater-grondwater in de geplande toestand grotendeels zal bepaald worden door het innamekanaal. De debieten oppervlaktewater nodig voor het voeden van de winning liggen in de grootte-orde van 10.300 m³/d in de winter. In de zomer is ca. 1.200 m³/d nodig voor de voeding van het kanaal.

De massabalans wijst uit dat in de winter het grootste deel van het geïnfiltreerde water zal opgepompt worden; de bijdrage van de nuttige neerslag en de berging tot de winning zijn nog relatief belangrijk. In de zomer zal het grootste gedeelte van het geïnfiltreerde water gebruikt worden voor de heraanvulling van het grondwaterreservoir.

Referenties

DE SMET, D. & DE BREUCK, W. (1997). *Winning van infiltratiewater ter hoogte van de Avekapellekreek. Tussentijds verslag: dikte van de polderklei ter hoogte van het geplande tracé*. Universiteit Gent: Laboratorium voor Toegepaste Geologie & Hydrogeologie (TGO 97/17) in opdracht van de IWVA.

INTERCOMMUNALE WATERLEIDINGSMAATSCHAPPIJ VAN VEURNE-AMBACHT C.V. (1997). *Winning van infiltratiewater ter hoogte van de Avekapellekreek*. IWVA interne nota.

LEBBE, L., TARHOUNI, J., VAN HOUTTE, E. & DE BREUCK, W. (1995). *Results of an artificial recharge test and a double pumping test as preliminary studies for optimizing water supply in the western Belgian coastal plain*. Hydrogeology Journal, v. 3, no. 3, p.53-63.

LEBBE, L., VAN HOUTTE, E., VANLERBERGHE, F. & DE BREUCK, W. (1996). *Quality evolution of the fresh and salt groundwater pumped near a drainage canal in the Western Flemish coastal plain*. Proceedings of the 14th Salt Water Intrusion Meeting, Malmö 1996, p. 157-167.

VAN HOUTTE, E., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1992). *Studie van de huidige en toekomstige waterwinningsmogelijkheden in de Westhoek*. Universiteit Gent: Laboratorium voor Toegepaste Geologie & Hydrogeologie (TGO91/07) in opdracht van de IWVA.

ZEUWTS, L. (1991). *Hydrogeologie en hydrochemie van de Ijzervlakte tussen de Frans-Belgische grens en Avekapelle-Pervijze (Westelijke kustvlakte)*. Universiteit Gent: doctoraats-verhandeling.